

Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Civil

Modelado BIM para Proyecto AS-BUILT de Infraestructuras Lineales

Autor: Javier Monar González

Tutor: Blas González González

Dpto. Construcciones Arquitectónicas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Departamento de
Construcciones
Arquitectónicas 1

Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Civil

Modelado BIM para Proyecto AS-BUILT de Infraestructuras Lineales

Autor:

Javier Monar González

Tutor:

Blas González González

Profesor Asociado

Dpto. Construcciones Arquitectónicas I

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Grado: Modelado BIM para Proyecto AS-BUILT de Infraestructuras Lineales

Autor: Javier Monar González

Tutor: Blas González González

El tribunal nombrado para juzgar el TFG arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

A mis padres que me han brindado la oportunidad de estudiar esta carrera y me han estado apoyándome en todo momento.

A mis hermanos y a Paula, por acompañarme siempre y celebrar mis logros como si fueran suyos propios.

A mis amigos de la carrera, que siempre han estado ayudando en lo que hiciera falta y no olvidare los buenos momentos que pasamos juntos.

A mi tutor de Trabajo de Fin de Grado, Blas, por animarme a la elección de un proyecto que siga la línea de investigación BIM y por su dedicación al mismo para conseguir que la metodología BIM forme parte de la formación de las futuras generaciones de Ingenieros Civiles.

A Francisco García que dedicó su tiempo a solucionar los problemas que me surgieron con el software AutoCAD Civil 3D.

A todos ellos mi más sincero agradecimiento.

Resumen

En el presente Trabajo de Fin de Grado se realiza una investigación acerca de la aplicación de la metodología BIM al proyecto AS-BUILT, en particular a una infraestructura lineal.

En el mismo se ha realizado una aproximación a la construcción digital de obras civiles, para seguidamente desarrollar el proyecto CAD (Proyecto de Carretera que está finalizándose y en proceso de recepción de las obras ejecutadas) objeto de su modelado BIM para su uso posterior en la gestión de la conservación.

También se ha realizado un estudio sobre las herramientas BIM para obras lineales disponibles actualmente, a fin de evaluar su idoneidad para este trabajo.

Y como última fase del trabajo, se lleva a cabo la realización de un modelo AS-BUILT en AutoCAD Civil 3D, eligiéndose como modelo el proyecto real de la Variante de las poblaciones de Beas y Trigueros en la carretera N-435.

En este modelo se ha desarrollado una sección tipo de la carretera que permite entre otros definir la construcción real del terraplén y desmonte, mediante el software Subassembly Composer. Una vez que se han obtenido los sólidos de las diferentes capas de la carretera, se les introducirá la información relativa a los ensayos del control de calidad de la obra, para ello introduciremos la información mediante las Properties Set de C3D.

Con esto se pretende estudiar el desarrollo de gemelos virtuales para usos BIM; para así verificar este avance en la construcción digital, para llegar a ser un modelo BIM 7D que permita la gestión de activos de obras civiles lineales. Y a la vez verificar la capacidad en introducción de información en el modelo 3D.

Palabras Clave

BIM AS-BUILT, BIM CIVIL, BIM 7D, BIM, CARRETERAS, CONSTRUCCIÓN DIGITAL

Abstract

In the present Final Degree Project, an investigation about the application of the BIM methodology to the AS-BUILT project, in particular to a linear infrastructure, is carried out.

An approach to the digital construction of civil works has been made, to then develop the CAD project (Road Project that is being finalized and in the process of receiving the executed works) object of its BIM modelling for its later use in conservation management.

A study has also been carried out on the BIM tools for linear works currently available, in order to assess their suitability for this work.

And as the last project phase, an AS-BUILT model in AutoCAD Civil 3D is carried out, choosing the real project of the Variant of the towns of Beas and Trigueros on the N-435 road as model.

In this model, a standard road section has been developed that allows, among other things, to define the actual construction of the embankment and road dismount, using the Subassembly Composer software. Once the solids of the different layers of the road have been obtained, the information related to the quality control tests of the work will be introduced. To do this, the information will be introduced by means of the Properties Set of C3D.

With this we intend to study the development of virtual twins for BIM uses; in order to verify this advance in digital construction to become a 7D BIM model that allows the management of linear civil works assets. And at the same time, verify the capacity of information introduction in the 3D model.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
Notación	xxiii
1 Introducción	1
1.1 <i>Objetivos específicos del TFG</i>	1
2 Metodología	2
2.1 <i>Estructura del TFG</i>	3
3 La Construcción Digital	4
3.1 <i>Modelos de Información de construcción</i>	4
3.1.1 <i>Modelo AS-BUILT</i>	5
3.1.2 <i>Modelo Topográfico</i>	5
3.1.3 <i>Modelo Geotécnico</i>	7
3.1.4 <i>Modelos de Obras de Paso y Puentes</i>	10
3.1.5 <i>Estructura BIM en una Infraestructura Lineal</i>	14
3.2 <i>El intercambio de información en las fases del proceso</i>	16
3.2.1 <i>Los formatos de intercambio</i>	17
3.2.2 <i>IFC (Industry Foundation Classes)</i>	17
3.2.3 <i>El formato COBie</i>	19
3.2.4 <i>LandXML</i>	20
3.2.5 <i>iModel</i>	20
3.2.6 <i>Shape</i>	21
3.2.7 <i>Open Geospatial Consortium (OGC)</i>	22
4 Proyecto de la Obra	23
4.1 <i>Situación inicial</i>	23
4.2 <i>Características de la Variante</i>	24
4.3 <i>Archivo CAD</i>	26
4.4 <i>La ejecución de la obra</i>	27
5 Las Herramientas BIM de obras lineales	28
5.1 <i>Panorama de Herramientas BIM para obras lineales</i>	28
5.2 <i>Aplicación con Civil 3D</i>	29
5.3 <i>Funcionalidades de la Herramienta</i>	29
6 El Diseño de las Secciones Constructivas	30
6.1 <i>Sub-Ensamblajes en CIVIL 3D</i>	30
6.2 <i>SUBASSEMBLY COMPOSER</i>	32
6.2.1 <i>Subensamblajes de la sección tipo de la obra lineal</i>	32

7	El modelo de la obra lineal	40
7.1	<i>Superficies</i>	41
7.1.1	Superficie del Terreno	41
7.1.2	Superficies de la Obra Lineal	41
7.1.3	Superficies de Explanación	41
7.1.4	Superficies Geotécnicas	41
7.2	<i>Alineaciones</i>	42
7.2.1	Alineaciones de la carretera	42
7.2.2	Alineaciones de Obra de Drenaje Transversal	42
7.3	<i>Las secciones Inteligentes</i>	43
7.4	<i>Generación del corredor</i>	44
7.4.1	Creación de superficies de la obra lineal	45
7.5	<i>Sólidos de la obra lineal</i>	47
8	El modelo de Drenaje Transversal	48
9	Las Obras de Paso	50
9.1	<i>Modelo de Obra de Paso</i>	51
9.2	<i>Ensamblaje en la Obra Lineal</i>	51
10	La Información de Construcción en el Modelo	53
10.1	<i>Properties Sets</i>	54
10.2	<i>Aplicación al caso estudio</i>	57
10.3	<i>Exportación del IFC carretera</i>	58
11	Entregables	59
12	Conclusiones	60
13	Futuras líneas de investigación	62
14	Referencias	63

Anejo 1. Manual BIM para modelos 3D con AutoCAD Civil 3D 2019

Anejo 2. Planos del proyecto base

Anejo 3. Ensayos geotécnicos terraplén y desmonte

Anejo 4. Planos Modelo Civil 3D

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos del archivo de localización en formato CSV (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	8
Tabla 2. Datos de archivo de información en formato CSV (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	8
Tabla 3. Códigos estándar de puntos. (Fuente: Autodesk)	13
Tabla 4. Códigos estándar de vínculos. (Fuente: Autodesk)	14
Tabla 5. Códigos estándar de formas. (Fuente: Autodesk)	14
Tabla 6. Taludes Desmonte-Terraplén (Fuente: Propia)	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología del TFG (Fuente: Elaboración propia)	3
Figura 2. Laser Escaner 3D (Fuente: Google)	6
Figura 3. Drones (Fuente: Google)	6
Figura 4. Mobile Mapping (Fuente: Google)	6
Figura 5. Localización y opciones de la herramienta de Topografía en C3D (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	7
Figura 6. Localización y opciones del Geotechnical Module (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	7
Figura 7. Crear nuevo proyecto en GEM (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	9
Figura 8. Resultado final modulo geotécnico (Fuente: Keynetix Ltd)	9
Figura 9. Viaducto de la Roumer (Fuente: Construyendo puentes con BIM - Revista Constructivo)	11
Figura 10. Fanli Bridge (Fuente: Autodesk)	12
Figura 11. Estructuras Fanli Bridge (Fuente: Autodesk)	12
Figura 12. Planeación y simulación del proceso constructivo puente Fanli (Fuente: Autodesk)	13
Figura 13. Modelo Obra Lineal flujo de trabajo (Fuente: Elaboración propia)	14
Figura 14. Unión de todos los modelos (Fuente: Propia)	15
Figura 15. Fases de un proyecto tradicional (Fuente: Elaboración propia)	16
Figura 16. Fases de un proyecto BIM (Fuente: Elaboración propia)	16
Figura 17. Esquema Formatos de intercambio (Fuente: Propia)	17
Figura 18. IFC Niveles de Madurez (Fuente: Google)	18
Figura 19. IFC AutoCAD Civil 3D (Fuente: Propia)	19
Figura 20. Tabla COBie (Fuente: Msistudio)	19
Figura 21. COBie con C3D (fuente: Elaboración propia)	20
Figura 22. Variante de las poblaciones de Beas y Trigueros (Fuente: Radio Valverde)	23
Figura 23. Esquema de la sección tipo (Fuente: Proyecto de partida)	24
Figura 24. Explanada (Fuente: Proyecto de partida)	25
Figura 25. Sección de firme (Fuente: Proyecto de partida)	25
Figura 26. Inauguración de la variante de Beas y Trigueros (Fuente: Periódico Huelvaya.es)	27
Figura 27. Obras de la variante (Fuente: Huelva informa)	27
Figura 28. Variante finalizada (Fuente: infonuba)	27
Figura 29. Ventana inicio AutoCAD Civil 3D (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	29
Figura 30. Catalogo ensamblajes de C3D (Fuente: Autodesk)	31
Figura 31. Subassembly sección básica terraplén (Fuente: Propia)	33
Figura 32. Subassembly sección básica desmonte (Fuente: Propia)	33
Figura 33. Resultado de la herramienta Loop Geometry (Fuente: Propia)	34
Figura 34. Sequence Pavimento Subassembly Composer (Fuente: Propia)	36

Figura 35. Sequence Firme Calzada y Zahorra Artificial (Fuente: Propia)	36
Figura 36. Sequence Firme Arcén (Fuente: Propia)	36
Figura 37. Sequence Berma (Fuente: Propia)	37
Figura 38. Decisión Desmonte - Terraplén (Fuente: Propia)	37
Figura 39. Flowchart terraplén (Fuente: Propia)	38
Figura 40. Subensamblaje sección transversal del proyecto (Fuente: Propia)	39
Figura 41. Subensamblaje sección transversal del proyecto (Fuente: Propia)	39
Figura 42. Modelo Obra lineal flujo de trabajo (Fuente: Propia)	40
Figura 43. Superficies modelo obra lineal (Fuente: Propia)	41
Figura 44. Alineaciones de eje del modelo (Fuente: Propia)	42
Figura 45. Ensamblaje sección carretera (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	43
Figura 46. Menú crear obra lineal (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	44
Figura 47. Menú parámetros de línea base y de región (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	44
Figura 48. Propiedades de obra lineal (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	45
Figura 49. Propiedades de la obra lineal (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	45
Figura 50. Modelo de la obra lineal (Fuente: Propia)	46
Figura 51. Sólidos Obra lineal (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	47
Figura 52. Embocadura de ODT tipo caño (Fuente: Internet Explorer)	48
Figura 53. Embocadura 3D (Fuente: Propia)	49
Figura 54. Modelo de transiciones del puente (Fuente: Propia)	50
Figura 55. Modelo Puente BIM Vision (Fuente: Propia)	51
Figura 56. Modelo en Civil 3D puente y transiciones (Fuente: Propia)	51
Figura 57. Flujo de trabajo Información modelo (Fuente: Propia)	53
Figura 58. Tabla parámetros de unidades de obra (Fuente: Propia)	54
Figura 59. Menú Administrar de AutoCAD Civil 3D (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	54
Figura 60. Administrador de estilos (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	55
Figura 61. Propiedades Sólido 3D (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	56
Figura 62. Agregar conjunto de propiedades (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	56
Figura 63. Properties Set sólido 3D (Fuente: AutoCAD Civil 3D)	57
Figura 64. Sólidos Obra Lineal BIM VISION (Fuente: Elaboración propia)	58
Figura 65. Interfaz del Subassembly Composer. (Fuente: Elaboración propia)	2
Figura 66. Tool Box del SAC (Fuente: Elaboración propia)	2
Figura 67. Elemento decisión y sus propiedades (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)	4
Figura 68. Elemento Switch y sus propiedades (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)	5
Figura 69. Funciones lógicas SAC (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)	5
Figura 70. Miscellaneous (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)	5
Figura 71. Grupo Preview (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)	6
Figura 72. Opciones Generales (Packet Settings). (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)	7
Figura 73. Definición de parámetros de entrada y salida (Input/Output Parameters). (Fuente: Autodesk	

Subassembly Composer)	8
Figura 74. Parámetro objetivo de superficie (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)	9
Figura 75. Inicio de construcción del flujo de un ensamblaje (Fuente: Autodesk SubassemblyComposer)	9
Figura 76. Importar Subensamblaje C3D (Fuente: Propia)	10
Figura 77. Importar Subensamblajes (Fuente: Propia)	10
Figura 78. Estructura típica subensamblaje de secciones pavimentadas. (Fuente: Autodesk)	11
Figura 79. Selección archivo minutos (Fuente: Propia)	16
Figura 80. Plantillas minutos (Fuente: Propia)	17
Figura 81. Administración de configuración de página (Fuente: Propia)	18
Figura 82. Configuración de presentación (Fuente: Propia)	18
Figura 83. Ventanas gráficas (Fuente: Propia)	19
Figura 84. Ventanas gráficas (Fuente: Propia)	19
Figura 85. Cajetín de impresión (Fuente: Propia)	19
Figura 86. Propiedades de ventana gráfica (Fuente: Propia)	20
Figura 87. Cuadro de creación de minutos (Fuente: Propia)	21
Figura 88. Menú creación de minutos (Fuente: Propia)	22
Figura 89. Opciones de alineación (Fuente: Propia)	23
Figura 90. Menú etiquetas de alineación (Fuente: Propia)	23
Figura 91. Menú desplegable de estilos (Fuente: Propia)	24
Figura 92. Designación de estilo de etiqueta (Fuente: Propia)	25
Figura 93. Menú de creación de estilos de etiqueta (Fuente: Propia)	25
Figura 94. Menú creador de estilos de etiqueta (Fuente: Propia)	26
Figura 95. Menú editor de componentes de texto de etiqueta (Fuente: Propia)	26
Figura 96. Valores de sobreancho en secciones en capas de la sección transversal (Fuente: Norma 6.1-I.C)	29
Figura 97. Crear Superficie (Fuente: Propia)	31
Figura 98. Pegar Superficies (Fuente: Propia)	31
Figura 99. Alineación y embocaduras de la ODT (Fuente: Propia)	32
Figura 100. Menú Línea de rotura (Fuente: Propia)	33
Figura 101. Problemas ODT (Fuente: Propia)	33
Figura 102. Vista de la ODT (Fuente: Propia)	34
Figura 103. Polilínea cerrada de la embocadura (Fuente: Propia)	34
Figura 104. Herramientas de creación de explanación (Fuente: Propia)	34
Figura 105. Nuevo estilo de Explanación (Fuente: Propia)	35
Figura 106. Regiones de la obra lineal (Fuente: Propia)	36
Figura 107. Ensamblaje transición puente (Fuente: Propia)	36
Figura 108. Extraer líneas características de la obra lineal (Fuente: Propia)	37
Figura 109. Líneas características para extraer de la obra lineal (Fuente: Propia)	37
Figura 110. Unir líneas características (Fuente: Propia)	37
Figura 111. Crear grupo de explanación (Fuente: Propia)	37

Figura 112. Ejemplo de resultado primera transición (Fuente: Propia)	38
Figura 113. Ensamblaje muro de contención (Fuente: Propia)	38
Figura 114. Estructura de la obra lineal (Fuente: Propia)	38
Figura 115. Resultado segundo ejemplo de transición (Fuente: Propia)	39
Figura 116. Resultado obra de paso en civil 3D (Fuente: Propia)	39

Notación

TFG	Trabajo de Fin de Grado
C3D	AutoCAD Civil 3D
BIM	Building Information Modelling (Modelo de información para la construcción)
IFC	Issued For Construction (Emitido para construcción), formato de intercambi

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo titulado **Modelado BIM para Proyecto AS-BUILT de Infraestructuras Lineales** se enmarca dentro de la normativa referente al Trabajo de Fin de Grado de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla (ETSI) para la consecución de los créditos ECTS de la asignatura Trabajo de Fin de Grado, y así obtener el título de Grado en Ingeniería Civil por la Universidad de Sevilla (Plan 2018/2019).

El departamento que ha propuesto el Trabajo de Fin de Grado ha sido el Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, siendo el tutor del presente trabajo D. Blas González González, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, y profesor de dicho departamento.

En este TFG se realizará una aproximación a la elaboración de un modelo BIM AS-BUILT de una obra lineal.

Se desarrollará un nuevo modelo 3D, con una sección inteligente que permite la construcción del terraplén en C3D, y se introducirá la información de los ensayos de control de calidad realizados en el modelo 3D, para su posterior uso BIM 7D.

En todo trabajo de investigación es necesario emplear un proceso estructurado que guíe la realización de éste para que finalmente se alcance el objetivo deseado. Los trabajos de investigación deben o bien arrojar luz sobre algún tema concreto que no está totalmente definido, o por el contrario proponer algo que no existe o no ha sido estudiado con anterioridad. Este tipo de trabajos tiene como finalidad aportar ideas, soluciones o hacer una aportación al conocimiento que ya se tiene; por tanto, en este trabajo se realiza una aportación al proceso metodológico de modelado de obras lineales para su posterior uso en la gestión de activos y por tanto mejorar la eficiencia en la gestión de la información de la construcción de obras civiles.

1.1 Objetivos específicos del TFG

El objetivo fundamental es la elaboración de un modelo BIM AS-BUILT para la gestión y mantenimiento de la infraestructura de una obra ejecutada, en base a un proyecto CAD de una infraestructura lineal. Los trabajos que realizar incluyen un análisis del archivo CAD que se aporta por el tutor del TFG, en el cual se incluye la cartografía del terreno natural, la alineación, los perfiles longitudinales, la rasante y algunas secciones transversales.

Una vez estudiado y analizado el proyecto CAD, uno de los objetivos específicos es obtener una sección tipo inteligente de la obra lineal. Una vez que este objetivo se alcance, se procede a realizar el modelado de la obra lineal en el software AutoCAD Civil 3D.

A partir de aquí, los objetivos parciales del trabajo son los siguientes:

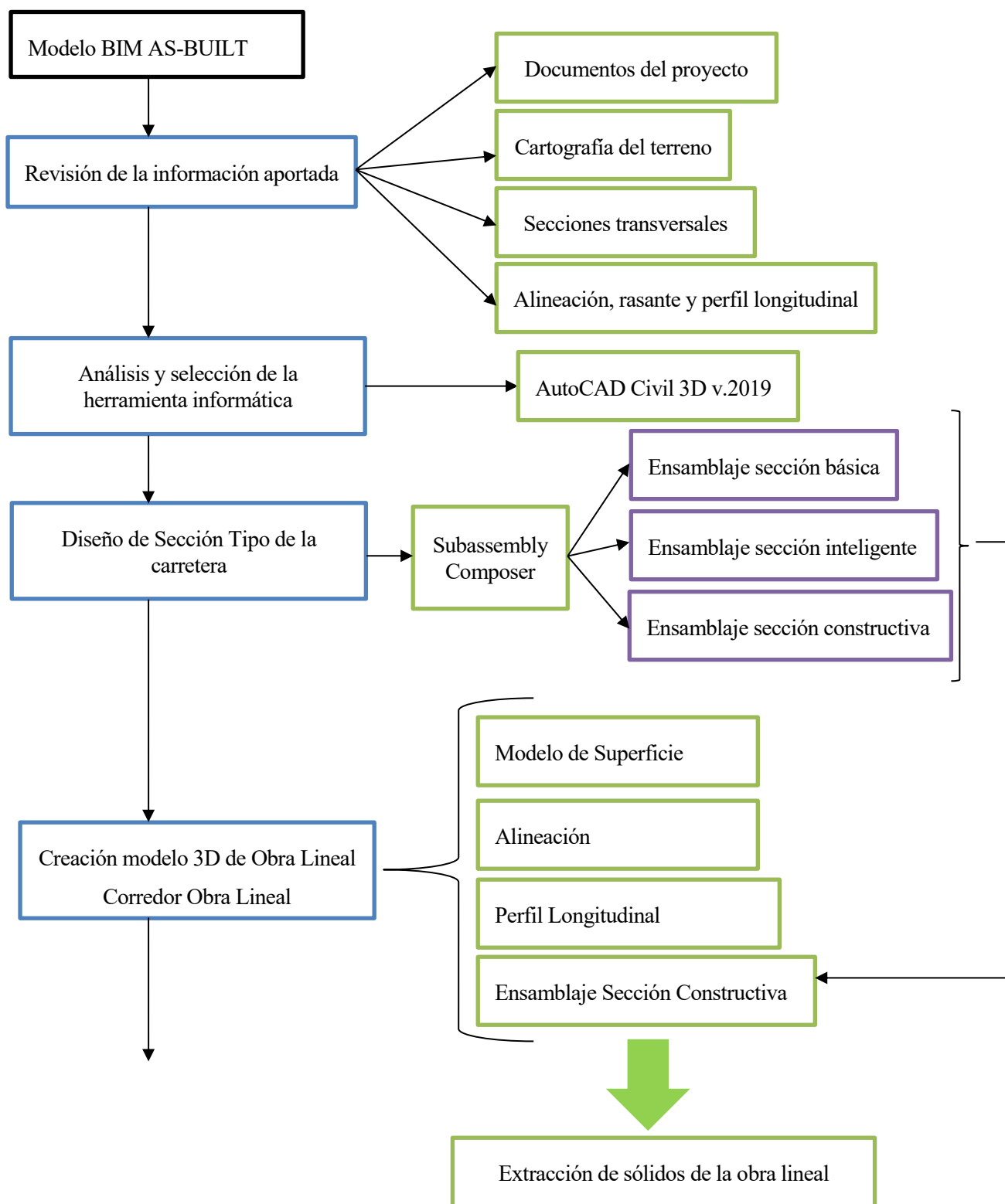
- Modelo de la Obra Lineal
- Modelo de Obra de Drenaje Transversal.
- Modelo de Obra de Paso. Introducción de puente realizado con Revit.

Finalizando con la generación de sólidos 3D de la obra lineal, para conseguir el objetivo más importante del TFG que es la introducción de la información de la construcción realizada en la infraestructura lineal.

En definitiva, el objeto de este trabajo es conseguir aportar conocimientos en la metodología de modelado BIM AS-BUILT de una Obra Lineal en ingeniería civil, siguiendo la línea de trabajo que se comenzó con los Trabajos de Fin de Máster de la Aplicación de la Metodología BIM a un Proyecto de Construcción de un Corredor de Transporte para un Complejo Industrial (Autores: Miguel Ángel Ferreiro Morales, Juan Bautista Bermejo García y Carmen Vera Galindo) (Año:2018) que obtuvo la calificación de matrícula de honor.

2 METODOLOGÍA

A pesar de que el lector ha podido deducir de lo expuesto en el Capítulo 1, Introducción del presente documento la metodología desarrollada en el presente trabajo, se ve necesario explicar detalladamente en el presente apartado el proceso más aproximado aplicado en esta investigación.



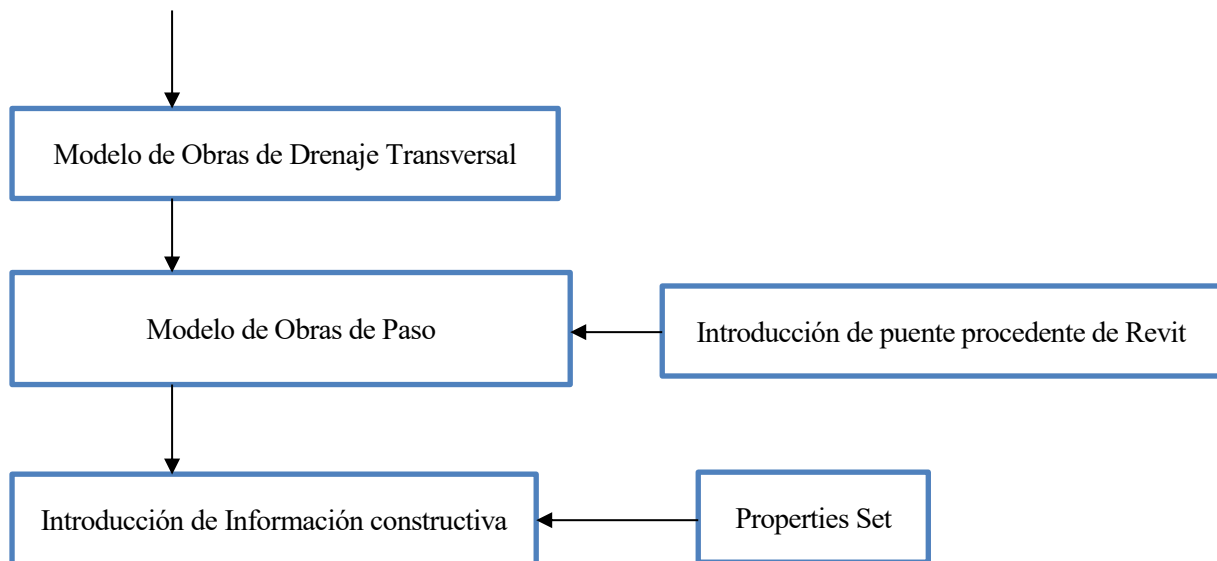


Figura 1. Metodología del TFG (Fuente: Elaboración propia)

2.1 Estructura del TFG

Cabe mencionar antes de continuar con la descripción del trabajo, explicar cuál es la estructura del documento, en el que se pueden distinguir tres bloques:

- a) Introducción y generalidades (Capítulos del 1 al 5). Se explica el contexto donde nos encontramos, cuáles son los modelos de información de la construcción, como se realiza el intercambio de la información que se genera con los modelos, que herramientas se disponen para el diseño de obras lineales y la aplicación con AutoCAD Civil 3D.
- b) Modelado 3D mediante la aplicación de la herramienta informática (Capítulos del 6 al 13). Es la parte central del trabajo desarrollado, donde se pone en práctica los objetivos que anteriormente se han especificado. Finaliza con las conclusiones del trabajo realizado, y se proponen futuras líneas de trabajo a desarrollar.
- c) Anejos al documento. Una vez finalizados los dos primeros bloques, se encontrarán los siguientes anejos:
 - i. En el primer anejo, se dispone de un **Manual BIM para modelos 3D con AutoCAD Civil 3D 2019**.
 - ii. A continuación, se dispone el **Anejo 2 Planos del Proyecto Base**
 - iii. En el tercer anejo, **Ensayos Geotécnicos terraplén y desmonte**.
 - iv. En el cuarto anejo, se dispone **Planos Modelo C3D**

3 LA CONSTRUCCIÓN DIGITAL

3.1 Modelos de Información de construcción

BIM (Building Information Modelling) es un proceso integrado que se cimenta en la información coordinada y confiable de un proyecto, desde su inicio (diseño de la obra) hasta su construcción y mantenimiento. Este modelo contiene, además de una representación en 3D, una gran base de datos con toda la información que permite gestionar los elementos que forman parte de la infraestructura durante todo su ciclo de vida.

Las principales ventajas de la metodología BIM respecto al modo de trabajo convencional son:

- Resolución en fase de proyecto de los problemas constructivos.
- Reducción importante de trabajo frente a frecuentes modificaciones del proyecto.
- Coherencia de todos los entregables del proyecto. Como todos los documentos se generan partiendo de una base, una modificación en el proyecto base permite una actualización automática de los documentos manteniendo la coherencia entre ellos.
- Cada elemento de la obra posee su información constructiva dentro del modelo digital.
- Mayor control del proyecto.
- Gestión de archivos más eficiente.
- Documentación de la construcción y transmisión de información más exactas.
- Mitigación de costos y riesgos de atraso a través de la valoración en tiempo real de los datos e interdependencias del proyecto.
- Potencial para reducir la duplicación de trabajo posterior a la construcción, así como los costos de operación mediante la visibilidad más temprana del proyecto.

BIM se encuentra muy desarrollada en el sector de la edificación, y aunque tiene sus raíces en este sector, BIM se puede aplicar a cualquier tipo de construcción, como caminos y autopistas.

Los modelos son simplificaciones de problemas más complejos acordes con la realidad, los cuales permiten entender mejor el comportamiento o funcionamiento de un sistema. Los modelos BIM pretenden simplificar los problemas que se tienen actualmente en el campo de la construcción, como por ejemplo la pérdida de información en paso de información entre los componentes de un proyecto. También pretenden anticiparse a los impactos que pueda conllevar la construcción de una obra en el entorno. Existen muchas razones por las que los modelos BIM deben de implantarse en el mundo de la Ingeniería Civil.

BIM es un proceso que usa modelos inteligentes para facilitar la coordinación, comunicación, análisis y simulación, así como la gestión del proyecto, la colaboración e, incluso, la administración de activos, el mantenimiento y las operaciones.

3.1.1 Modelo AS-BUILT

La carretera que se muestra en este TFG ya se encuentra construida y se han obtenido los ensayos de los terraplenes y desmontes. Por lo tanto, se trabaja para conseguir un modelo AS-BUILT para la gestión de activos.

AS-BUILT traducido al español significa ‘tal como esta construido’. AS-BUILT es un nuevo concepto de modelo de información que recoge toda la información de la obra ya construida. Por lo tanto, se trata de la séptima dimensión de BIM, es decir, con este modelo es posible gestionar el aprovechamiento y mantenimiento de las obras civiles una vez construidas, mediante una completa base de datos que acompaña a la obra en todo momento, la cual se actualiza con las modificaciones que sufra a lo largo de su explotación, [1]. En el trabajo mencionado, se realiza un modelo AS-BUILT de un edificio de la Universidad de Sevilla.

En todo proyecto, se ha de presentar al final el informe de cierre o de liquidación, este consiste en un documento que presente una sinopsis cronológica de los hechos involucrados en el mismo. Junto con el informe de cierre, se debe remitir copia de todos los informes de control de calidad, fotografías que reflejen el estado general de como quedó el proyecto, etc. El proyecto de liquidación constará con todos los croquis y planos de la obra realmente construida y aquellos que hayan supuesto modificaciones respecto al proyecto inicial.

En este TFG, los ensayos de control de calidad se introducirán como información en el modelo. Por ello, nuestro modelo tiene carácter AS-BUILT.

3.1.2 Modelo Topográfico

La topografía es una de las disciplinas cuyo conocimiento es básico para la Ingeniería Civil. A partir de ella, podemos hallar dimensiones de las superficies a través de mediciones de distancias, direcciones y elevaciones, obteniendo toda la información acerca de la Tierra y nuestro medio ambiente.

Según [2], estas mediciones de la Tierra permiten a la ingeniería saber con exactitud todas las mediciones necesarias para estudiar su proyecto. Y, por otro lado, un concepto importante de la topografía es el levantamiento. Los levantamientos son la representación gráfica de un terreno a través de aparatos topográficos, en el cual se mide el relieve, accidentes del terreno, se localizan objetos entre otras muchas cosas. Con todo ello, el ingeniero civil podrá saber si es factible o no, la realización de la obra civil en el terreno estudiado.

La topografía es una de las primeras fases de un proyecto de ingeniería. Ya que hay que recopilar todos los datos del terreno donde se pretende realizar la obra. Para ello se produce la captura masiva de datos del terreno.

3.1.2.1 Evolución de la captura masiva de datos del terreno

Como sabemos, principalmente antes se tomaban los datos mediante teodolitos, que son equipos de topografía donde se apuntaba a un objeto y de esta manera obteníamos el ángulo y la distancia, y mediante una serie de cálculos se obtenían las coordenadas del punto donde se encontraba el objeto.

El teodolito evolucionó, y a este aparato se le incorporó un distanciómetro y con ello permitía tomar distancias por distanciametría. La siguiente evolución fue a las estaciones totales y GPS, tecnología que actualmente se utiliza, y con el cual ya solo se requiere una persona para tomar los datos. Mientras que la estación total con teodolito requiere dos, el técnico que maneja la estación y el operario que sitúa el prisma. Por otra parte, la estación total exige que exista una línea visual entre el aparato y el prisma, lo que no es necesario en GNSS (Sistema Satelital de Navegación Global), aunque requiere al operario situarse en dicho punto. Por lo tanto, todos estos sistemas, solo permiten tomar datos donde el ser humano pueda acceder.

Hoy en día, con la evolución de las nuevas tecnologías, se esta realizando una captura masiva de los datos del terreno, utilizando lases escáner, drones mobile mapping, etc. Con estas nuevas tecnologías se adquieren muchos más datos donde el ser humano no tiene acceso. Por lo tanto, se maneja mucho más volumen de información que con los equipos clásicos como estaciones totales y GPS.

Estas nuevas tecnologías consisten en lo siguiente:

- Laser escáner: son equipos topográficos que tienen incorporados un láser que toma millones de puntos por segundo a 360 grados desde el punto donde se coloque la estación.

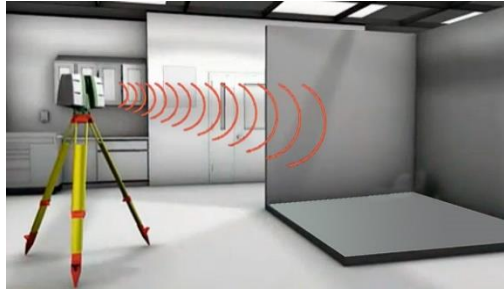


Figura 2. Laser Escaner 3D (Fuente: Google)

- Drones: son vehículos aéreos no tripulados que incorporan sensores para captar mediante fotogrametría el terreno, a partir de los cuales podemos obtener una nube de puntos.



Figura 3. Drones (Fuente: Google)

- Mobile Mapping: es un vehículo que incorpora laser escáner y cámara, que permite por donde vaya circulando obtener nubes de punto por la trayectoria que circula el vehículo.

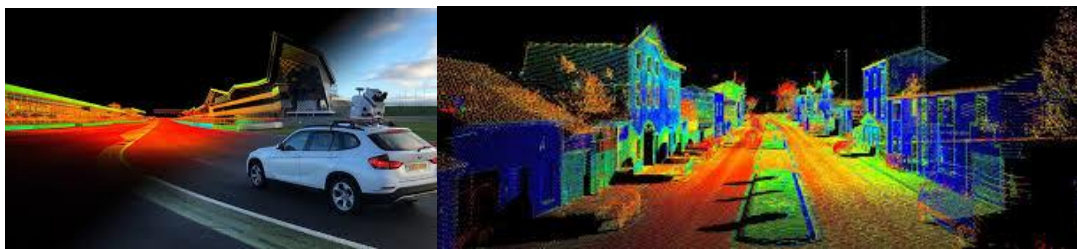


Figura 4. Mobile Mapping (Fuente: Google)

3.1.2.2 Planos de topografía

Hasta hoy en día, se utilizaba una estación total y se definía un plano topográfico del terreno que simplificaba la realidad, solo donde el topógrafo o el técnico era capaz de acceder podía definir o tomar datos de esa coordenada xyz. Entonces, para hacer un levantamiento topográfico de una determinada zona podría llevar 2 o 3 semanas.

Con las nuevas tecnologías, se puede obtener una ortofoto de la zona de estudio, mediante una sola persona en un día y también se obtiene un modelo en 3D con información geográfica, que se puede importar a las aplicaciones BIM.

3.1.2.3 Softwares para el procesamiento de datos

Se necesita un software para procesar las nubes de puntos que se consiguen de la captura de datos de drones, mobile mapping o laser escáner 3D. Los softwares nos van a permitir manipular esa información para que posteriormente sean interoperables con las diferentes plataformas de trabajo colaborativo. Los más conocidos son los siguientes:

- PIX4D.
- 3DRESCHAPER.
- AUTODESK RECAP.
- Bentley Descartes.
- Cyclone Leica Geosystems.

Con estos softwares se manipulará esas nubes de puntos para poder importarlas a los softwares de diseño como AutoCAD Civil 3D, para posteriormente el tratamiento o el diseño de la obra lineal.

AutoCAD Civil 3D dispone de una ficha para topografía, que viene por defecto al instalar el programa.



Figura 5. Localización y opciones de la herramienta de Topografía en C3D (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

Las funciones de topografía de C3D se utilizan para descargar, crear, analizar y ajustar datos de levantamientos.

3.1.3 Modelo Geotécnico

La geotecnia es una parte fundamental en los proyectos de obras lineales, ya que toda la obra se apoya sobre el terreno.

En el documento [3], los modelos geotécnicos-geológicos del terreno permiten a la Ingeniería conocer mejor las condiciones que dispone un determinado lugar. Permiten identificar problemas que existan y hacer más fácil la estimación de las propiedades del suelo. Por lo que, en una obra lineal, la parte de geotecnia también debe modelizarse con una metodología BIM.

La integración de datos geotécnicos tiene el fin de mejorar el proceso BIM, porque es parte del proyecto. BIM en la geotecnia puede ofrecer múltiples modelos del terreno en 3D y permite extraer varias secciones rápidamente, permitiendo identificar y ver los problemas desde varios ángulos, con ello se reduce el riesgo del proyecto.

Utilizando los modelos en 3D se pueden visualizar mejor las anomalías por profesionales que no se encuentren especializados en el mundo de la geotecnia.

3.1.3.1 Herramienta Geotécnica en AutoCAD Civil 3D

AutoCAD Civil 3D incorpora un módulo de geotecnia en sus últimas versiones. Este se llama Geotechnical Module (en adelante, GEM). Este módulo geotécnico no aparece en el asistente de instalación de C3D, por lo que es necesario acceder a la aplicación de escritorio de Autodesk para instalarlo.



Figura 6. Localización y opciones del Geotechnical Module (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

El GEM es capaz de elaborar y gestionar las capas del subsuelo que se encuentran bajo la obra lineal. Este modulo entre otras características, permite:

- Conectar una base de datos donde se encuentren los datos de campo e importar todo a C3D.
- Con esta información, podemos crear sondeos que han sido realizados en campo.
- Se pueden generar perfiles geotécnicos mediante una alineación.

- Crear superficies de las diferentes capas del subsuelo.
- Limitar las capas del subsuelo mediante superficies.

Para importar datos, es necesario que estén en formato AGS4, AGS31 o CSV. Los dos primeros son formatos de la Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialist.

Entonces, es necesario trabajar con dos archivos, uno que contenga la información relativa a la localización de los sondeos y otro que contenga los datos de registro de los sondeos.

Los datos para introducir en cada archivo son:

Cabecera de columna	Descripción	Obligatorio
LocationID	Identificación del sondeo	Sí
LocationType	Tipo de sondeo	Sí
Easting	Coordenada Este	Sí
Northing	Coordenada Norte	Sí
GrounLevel	Cota de elevación del punto de sondeo	Sí
FinalDepth	Profundidad del sondeo	Sí
Orientation	Orientación en grados	Sí
Inclination	Inclinación del sondeo	Sí

Tabla 1. Datos del archivo de localización en formato CSV (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

Cabecera de columna	Descripción	Obligatorio
LocationID	Identificación del sondeo	Sí
DepthTop	Valor (m) de la profundidad superior del estrato introducido	Sí
DepthBase	Valor (m) de la profundidad inferior del estrato introducido	Sí
GeologyCode	Código geológico	No
GeologyCode2	Código geológico alternativo	No
Description	Descripción general del estrato	No
LegCode	Leyenda del código	No
Angularity	Angularidad (Angular, subangular, redondeado, ...)	No
Shape	Forma (Planar, elongado,...)	No
Colour	Color	No
MoistureCondition	Factor de humedad (Seco, medio, húmedo, ...)	No
Consistency	Consistencia (Suave, firme, duro, muy duro, ...)	No
Cementation	Cementación (Débil, moderada, fuerte, ...)	No
Structure	Estructura del suelo (estratificado, laminado, fisurado, ...)	No
MaxParticleSize	Tamaño máximo de partícula	No
SandSize	Tamaño máximo de partícula de arena	No
GravelSize	Tamaño máximo de partícula de grava	No
CobbleBoulderSize	Tamaño máximo de roca	No
Classification	Código de clasificación	No
PrimaryComponent	Componente primario de la muestra	No
SecondaryComponent	Componente secundario de la muestra	No
TertiariComponent	Componente terciario de la muestra	No

Tabla 2. Datos de archivo de información en formato CSV (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

Una vez que tenemos los dos archivos con toda la información relativa a los sondeos, vamos al menú de GEM en C3D. En Conectar, vamos a crear un nuevo proyecto. Mediante los menús que se van generando:

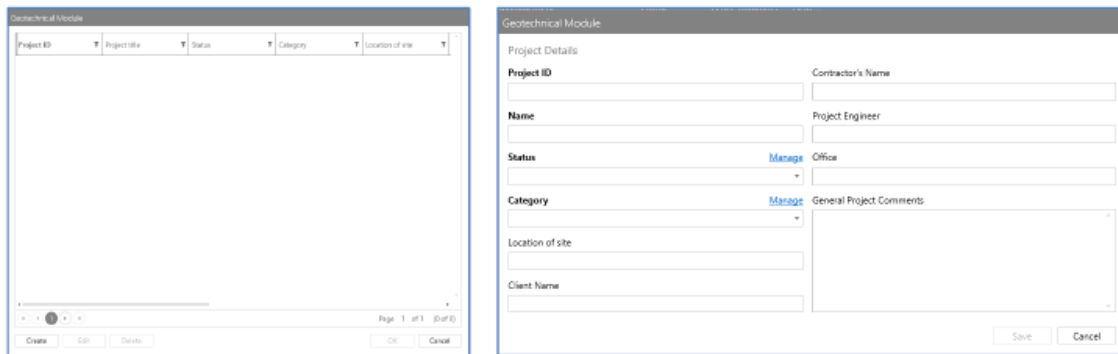


Figura 7. Crear nuevo proyecto en GEM (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

En ese momento ya creamos la base de datos, y se procede a continuación a importar la información. La información se puede introducir manualmente o con los dos archivos en formato CSV. Finalmente se obtiene un dibujo de AutoCAD con los puntos de los sondeos, y en 3D se pueden crear las superficies de las capas del subsuelo.

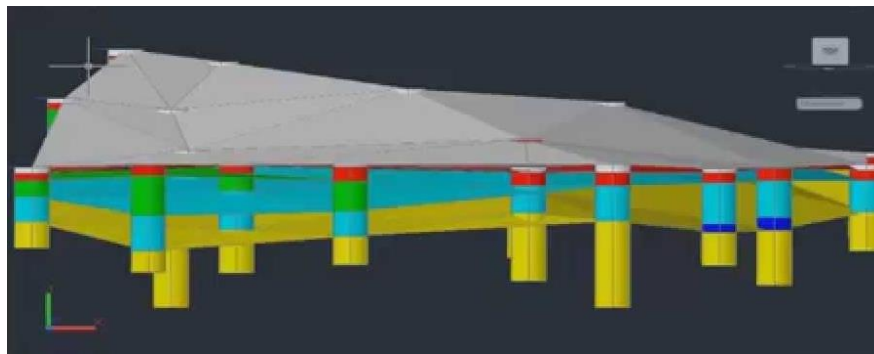


Figura 8. Resultado final modulo geotécnico (Fuente: Keynetix Ltd)

3.1.4 Modelos de Obras de Paso y Puentes

Según [4], la construcción virtual de un puente es diferente a otras estructuras o edificios. El propósito y el uso que se le dará son muy distintos a otros tipos de obra. Por lo tanto, la aplicación de BIM también lo será. En este tipo de construcción, existe la necesidad de construir un modelo 3D detallado con normas de detalle y construcción aplicables a los puentes. Por tanto, aparte del modelado BIM 3D, debemos centrarnos en otros sistemas avanzados como la secuenciación de la construcción, el desarrollo de la topografía, la coordinación detallada de múltiples disciplinas y sistemas como los sistemas arquitectónicos, estructurales y MEP. Estos modelos inteligentes y procesos BIM hacen que la construcción sea más productiva, por lo que influirá en el presupuesto y en la planificación de la obra. Se puede crear un modelo detallado y específico para cada disciplina con todos los elementos y coordinarlos posteriormente. Generalmente, las estructuras civiles pueden ser modeladas usando software que soporte BIM. Así como Revit es más popular en edificios residenciales y comerciales, Civil 3D es más popular para estructuras civiles. Una vez terminado el modelado, las disciplinas pueden ser coordinadas y luego los choques pueden ser eliminados. El modelo coordinado puede utilizarse posteriormente para extraer el modelo, la presentación y la secuencia de construcción. La secuenciación de la construcción ayuda a entender la línea de tiempo de la construcción y el calendario de principio a fin. El modelo AS-BUILT de la obra de paso será de gran ayuda en las fases de gestión y mantenimiento del activo.

3.1.4.1 Herramientas para el modelado de obras de paso

En la versión de 2018 de AutoCAD Civil 3D, se disponía de la herramienta Bridge Module. Esta herramienta permitía introducir modelos de puentes simples en la obra lineal fácilmente. Pero en las últimas versiones de C3D no se ha seguido desarrollando esta herramienta, debido a la aparición de Infraworks.

Infraworks 360 admite diseñar los tipos de puentes Jácena en I prefabricada y Estructura metálica, que admiten diferentes componentes de tablero, contrafuerte, pilar, jácena y apoyo del puente. Los parámetros por defecto de estos tipos de puente de hormigón y acero se representan mediante ensamblajes de puente de hormigón y acero.

Con la herramienta de Infraworks 360 se puede tener el impacto que crea la obra de paso en el entorno.

Usando las herramientas de Revit (modelado BIM), Dynamo (programación visual sobre Revit) y Python (programación en scripting) se logra desde la generación del modelo 3D hasta la realización de entregables en forma. Los planos incluyen elementos de detalle como apoyos, pretensado, superestructura y contenciones.

3.1.4.2 Ejemplos de modelos de puentes en BIM

Autopista A85 entre las ciudades de Anger y Vierzon (Francia)

Según [5], habla sobre la utilización de BIM para ofrecer una solución de encofrado eficiente para la ampliación de un tramo del ‘Viaducto de la Roumer’ en Francia.

La empresa que se encargó tomó como punto de partida el modelo de construcción del propietario del proyecto y modeló un gemelo digital con los datos de la estructura. En este modelo digital, los trabajos de encofrado se pueden simular virtualmente sobre el modelo incluso antes que los pilares, las cabezas de los pilares y los estribos estén visibles en el hormigón. El modelo ya terminado se pasó al formato IFC para aprovechar al máximo las ventajas de la planificación BIM, como la simulación de procesos. Otra ventaja de utilizar BIM es aprovechar toda la información sobre todos los datos relativos a los sistemas de encofrado individuales y a los componentes, como los números de artículo, las descripciones de los artículos, el peso, etc.

Además, con el modelo 3D también puede realizar pruebas de colisión de las operaciones individuales de forma rápida y sencilla y mapear sus interacciones. Los trabajos de armadura y encofrado, el almacenamiento de materiales y el uso de grúas y personal deben estar perfectamente coordinados para que la construcción avance sin problemas. Este es un aspecto importante cuando se forman las cabezas de los muelles, ya que el resultado tiene que ser preciso. De esta manera, se puede ver exactamente como realizar las tareas de encofrado junto al puente existente sin tener que realizar modificaciones en el transcurso de la obra.

Otro paso importante hacia unas obras más seguras y eficientes es la visualización de los procesos de construcción. El gemelo virtual del modelo de construcción permite crear una sensación real de estar en el sitio de construcción. El objetivo de este modelo BIM era crear una visión global del lugar y, por lo tanto, una mejor comprensión del proceso de construcción.



Figura 9. Viaducto de la Roumer (Fuente: Construyendo puentes con BIM - Revista Constructivo)

BIM en la construcción del puente Fanli

Según [6], el puente Fanli en la ciudad de Yixing. Tiene un claro de 500 mts con 6 carriles de circulación. Gracias a la ayuda de los procesos BIM y un diseño basado en un modelo inteligente, análisis y planeación virtual se consiguió un rendimiento acelerado, teniendo ahorros en costos y tiempo (comparado con el proceso convencional).

Para el diseño del modelo 3D inteligente, la empresa utilizó la plataforma Revit structural. Teniendo toda la información en un único modelo integral, cada miembro del equipo tenía mayor acceso, por lo que resulta más fácil la gestión del proceso general de diseño.



Figura 10. Fanli Bridge (Fuente: Autodesk)

La herramienta Infracore 360 se utilizó para el diseño conceptual, gracias a su rápida generación y análisis de diseños, terreno y características del entorno. Se pueden generar caminos y puentes gracias a las herramientas de diseño. Importar diferentes estructuras para analizar el impacto en el contexto real desde Revit a Infracore, crear visualizaciones para acelerar la toma de decisiones. Así como analizar el impacto visual que tendrá el puente dentro del contexto presentado en Infracore, gracias a la nube y la conectividad tener siempre disponible el modelo y archivos fue un factor fundamental para la etapa de diseño.

Para el diseño de las estructuras verticales, se utilizó Revit y AutoCAD, creando un modelo 3D y exportándolo a softwares de elementos finitos para analizarlo.

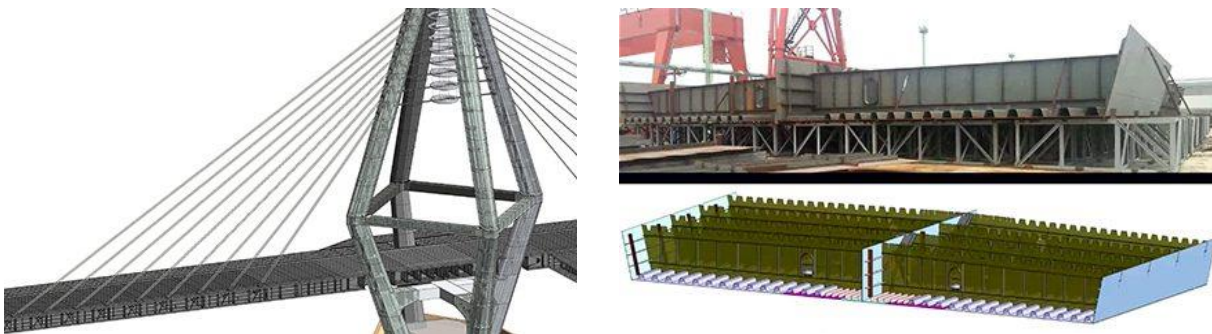


Figura 11. Estructuras Fanli Bridge (Fuente: Autodesk)

Con la herramienta Navisworks Manage, combino el modelo estructural del puente con el modelo ingenieril de Civil 3D de los caminos adyacentes y entorno para la coordinación de las múltiples disciplinas y detección de interferencias.

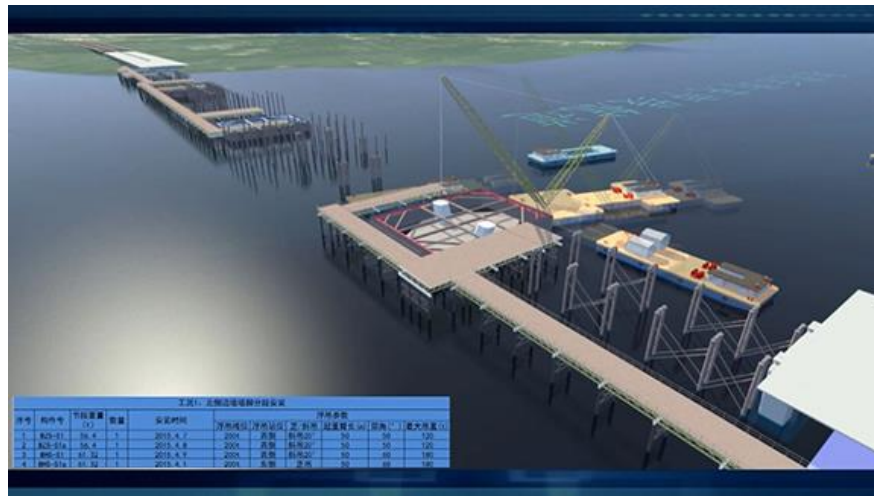


Figura 12. Planeación y simulación del proceso constructivo puente Fanli (Fuente: Autodesk)

El modelo multidisciplinar que se obtiene con esta herramienta se utiliza para la planeación y simulación de los procesos constructivos, ayudando al equipo a evaluar los múltiples escenarios de forma virtual para evitar problemas en el proceso real de construcción.

El resultado evitando el diseño manual, fue reducir en un 40 por ciento el plazo de diseño. Utilizando los modelos inteligentes de la etapa de diseño para después plantear y simular la construcción ayudo a reducir el plazo de construcción en un 30%.

3.1.5 Estructura BIM en una Infraestructura Lineal

Los modelos BIM en la infraestructura lineal posee una estructura como se puede ver en la siguiente figura:

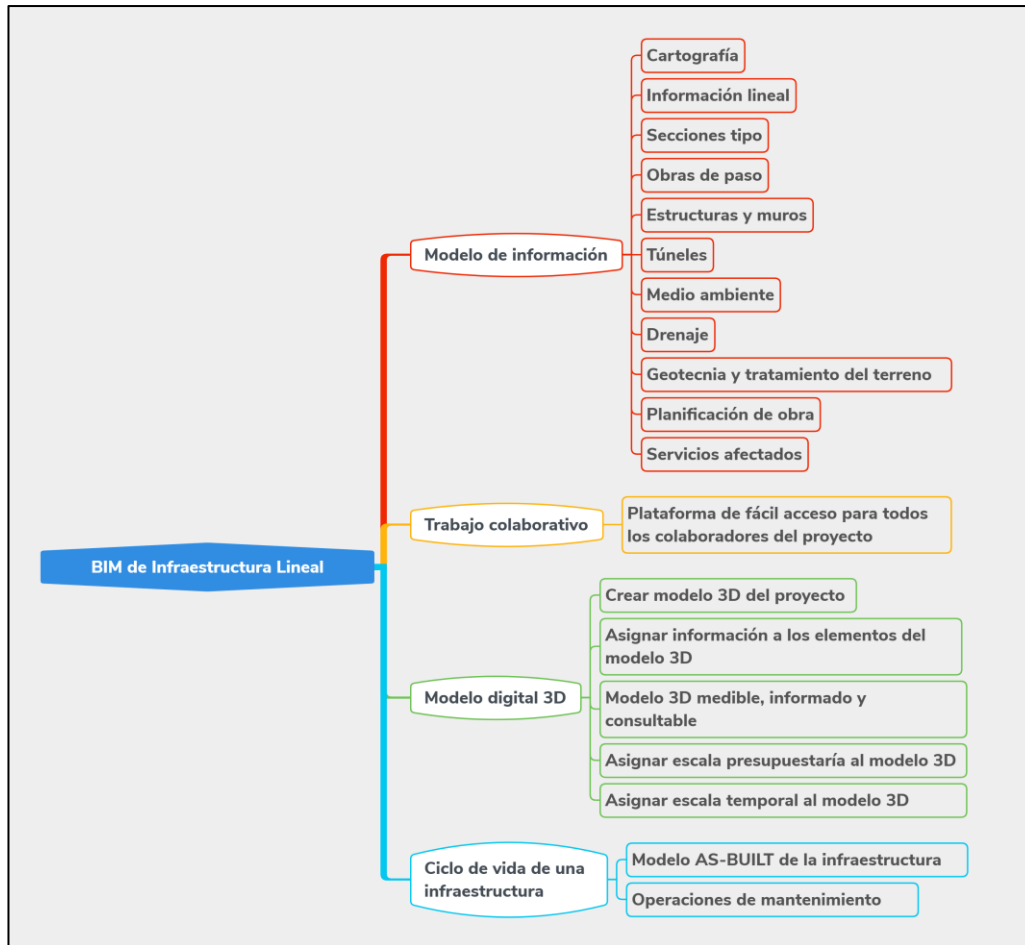


Figura 13. Modelo Obra Lineal flujo de trabajo (Fuente: Elaboración propia)

1. **Modelo de información.** Toda la información del modelo se debe encontrar organizada y clasificada. Con ello se consigue una mayor comprensión y transparencia en la gestión. Contendrá la información relacionada con los siguientes campos el modelo:
 - Cartografía.
 - Información lineal.
 - Secciones tipo.
 - Obras de paso.
 - Estructuras y muros.
 - Túneles.
 - Medio ambiente.
 - Drenaje.
 - Geotecnia y Tratamiento del terreno.
 - Planificación de obra.
 - Servicios afectados.
2. **Trabajo colaborativo.** Gestionar toda la documentación a través de una plataforma de fácil acceso para todos los colaboradores del proyecto de la obra lineal.

3. Modelo digital 3D. El cual permite la visualización, mejor comprensión y comunicación, coordinación, integración, detección de colisiones y validación de situaciones. El flujo de trabajo para obtener este modelo es:
 - Crear modelo 3D del proyecto.
 - Asignar información a los elementos del modelo 3D.
 - Modelo 3D medible, informado y consultable.
 - Asignar escala temporal al modelo 3D: con ello se consigue el modelo Planificación de obra (4D)
 - Asignar la escala presupuestaria al modelo 3D (5D)
4. Ciclo de vida de una infraestructura. Es importante tener presente esta parte del flujo de trabajo, ya que permite conocer las fases de construcción, operación y mantenimiento.

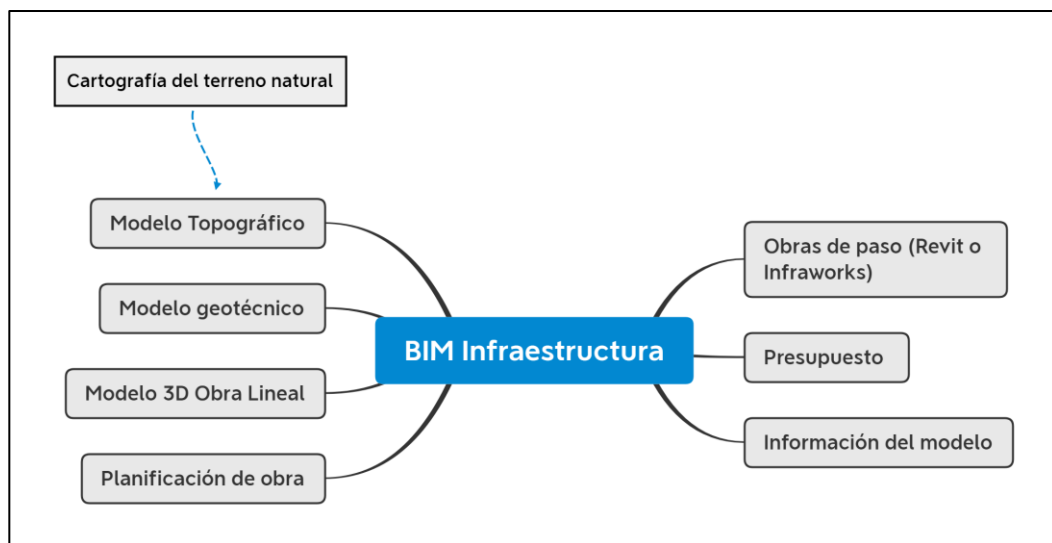


Figura 14. Unión de todos los modelos (Fuente: Propia)

3.2 El intercambio de información en las fases del proceso

El pilar fundamental en BIM es un modelo de datos de construcción inteligente que no solo incorpora la geometría 3D, sino también la información relevante sobre todas las fases de un proyecto.

Siempre y cuando todas las personas involucradas en el proyecto utilicen el mismo software, el intercambio de datos se producirá sin pérdida de información. Pero esto no suele ocurrir en un proyecto de ingeniería, ya que no existe un software que tenga todas las características necesarias. Por lo tanto, vamos a hablar sobre el intercambio de información en las diferentes fases del proceso.

En primer lugar, tenemos que hablar del concepto de ciclo de vida de un proyecto. El ciclo de vida de un proyecto engloba las fases que conectan el inicio de un proyecto con su fin. En general, estas fases son: Inicio → Planificación → Ejecución → Cierre del proyecto.

Las fases se dividen en procesos e hitos de decisión, los cuales pueden variar dependiendo del entorno de la organización. Un proyecto tradicional está dividido en fases las cuales tienen tareas y a su vez estas tareas tienen subtareas.

Proyecto tradicional:

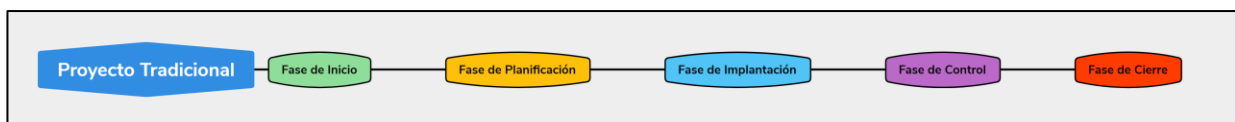


Figura 15. Fases de un proyecto tradicional (Fuente: Elaboración propia)

Los proyectos BIM, al igual que la estructura de un proyecto normal, se pueden encajar en fases. Las fases de un proyecto BIM son las siguientes:

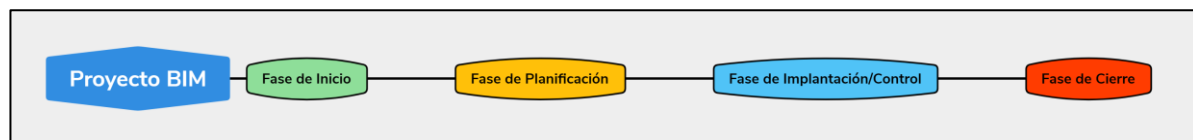


Figura 16. Fases de un proyecto BIM (Fuente: Elaboración propia)

La diferencia entre un proyecto tradicional y un proyecto BIM, es la iteración entre modelo 3D y los demás modelos, con lo que al modelar la información se va controlando a su vez la correcta representación de la información.

Por ello, el modelo BIM, es un conjunto de información de diferentes actividades de las fases del proyecto, que poco a poco se van convirtiendo en el entregable final del proyecto.

Entonces, se produce un traspaso de información entre las diferentes actividades y fases del proyecto, la cual se tiene que encontrar en un mismo formato para que todos los integrantes del proyecto puedan manejarla y realizar sus tareas. Esto nos lleva a hablar sobre los formatos de intercambio de información.

Una de las fortalezas de los sistemas de gestión basados en la metodología BIM debe ser la facilidad de compartir información entre los diferentes actores y partes implicadas. Esto hace necesario utilizar los diferentes estándares de formatos BIM para poder compartir la información de diferente naturaleza. Y al compartir información de diferente naturaleza puede conllevar la pérdida de información, por ello los formatos de intercambio están en continua evolución.

3.2.1 Los formatos de intercambio

BIM es una metodología que se centra en la gestión de cualquier proyecto en un entorno común, para facilitar el acceso a toda la información. Por ello, resulta imprescindible disponer de mecanismos que permitan la interoperabilidad y el intercambio de datos e información de forma segura. Por ello, se han desarrollado los siguientes estándares:

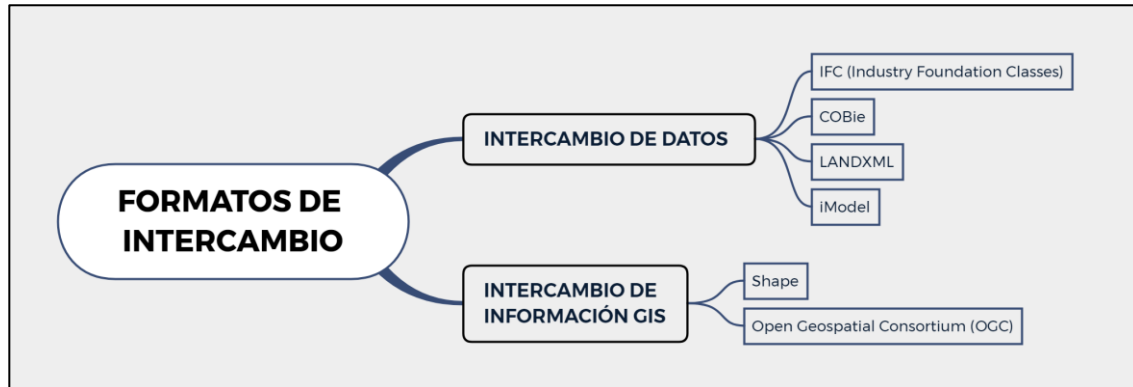


Figura 17. Esquema Formatos de intercambio (Fuente: Propia)

3.2.2 IFC (Industry Foundation Classes)

Con el uso de BIM en aumento, el intercambio de información se está convirtiendo en un requisito, incorporado incluso en el denominado Plan de Ejecución BIM o BEP. En realidad, hoy en día existe una calidad variable de los importadores y exportadores de herramientas BIM, y la mayoría de ellos requieren configuraciones personalizadas. Sin embargo, como todas las herramientas y tecnologías, IFC tiene sus fortalezas y debilidades. Es importante estar familiarizado con ellos para saber cómo usar IFC correctamente.

Según [7], IFC, “Industry Foundation Classes”, es un motor de importación /exportación que permite intercambiar información de modelos arquitectónicos y estructurales con fines de coordinación.

Fue desarrollado por IAI “International Alliance for Interoperability”, predecesora de Building Smart. Los conjuntos de documentación estructural y arquitectónica se pueden compartir a través de los formatos de archivo DWG y PDF. El estándar IFC es la clave para facilitar esto de manera rentable y sin depender de formatos de archivo específicos del producto o proveedor. Los principales proveedores de CAD han participado en el desarrollo de IFC y sus productos lo respaldan.

La plataforma del modelo IFC también permite el procesamiento posterior de la información de los modelos BIM. Su objetivo principal es proporcionar a los arquitectos e ingenieros la capacidad de intercambiar datos entre herramientas CAD, sistemas de estimación de costos y otras aplicaciones relacionadas con la construcción. IFC proporciona un conjunto de definiciones para todos los tipos de elementos de objeto encontrados en la industria de la construcción y una estructura basada en texto para almacenar esas definiciones en un archivo de datos.

IFC utiliza un archivo de texto plano, el único formato de datos informáticos verdaderamente universal. Los desarrolladores de CAD individuales almacenan los datos en el formato de archivo binario específico del producto que mejor se adapte a su sistema. Los desarrolladores aportan comando “Guardar como IFC” e “Importar como IFC”, que asignan las definiciones de objetos de IFC a las representaciones de estos objetos en su sistema CAD.

Los sistemas BIM modernos pueden crear ricas representaciones internas en componentes de construcción. IFC agrega un lenguaje común para transferir esa información entre diferentes aplicaciones BIM mientras mantiene el significado de diferentes piezas de información en la transferencia. Esto reduce la necesidad de remodelar el mismo edificio en cada aplicación diferente. También añade transparencia al proceso.

Por lo tanto, el formato IFC da una solución a la interoperabilidad entre diferentes aplicaciones. El formato

establece estándares internacionales de importación y exportación de objetos de construcción y propiedades.

IFC mejora la comunicación, la productividad, el tiempo de entrega y la calidad a lo largo del ciclo de vida de una construcción. Reduce la pérdida de información durante la transmisión de una aplicación a otra, gracias a los estándares establecidos para los objetos comunes de la construcción.

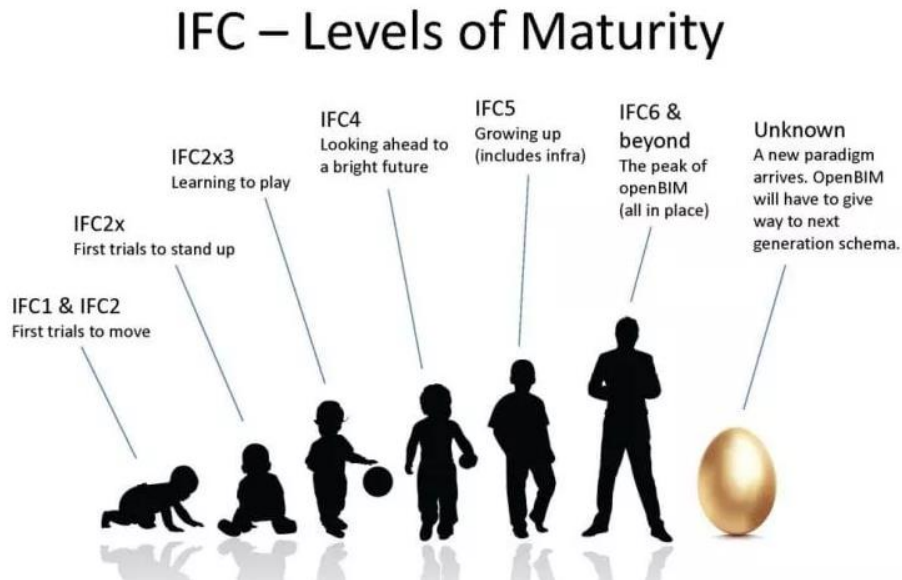


Figura 18. IFC Niveles de Madurez (Fuente: Google)

Hoy en día, el formato IFC se utiliza para el diseño (visualización y detección de choque) y la fase de construcción. Durante la primera etapa, el equipo de diseño podrá fusionar o referenciar modelos de disciplina independientemente de la aplicación original. Los archivos IFC también se usan para importar datos de una aplicación a otra. Sin embargo, este proceso implica una pérdida de datos e inteligencia del objeto. Tener un edificio virtual en formato abierto permite a los contratistas hacer el primer acercamiento al diseño y organizar el cronograma.

Una vez exportamos, el modelo IFC contiene no sólo la geometría del edificio y los datos del edificio, sino también toda la información contenida en los archivos nativos BIM. Al exportar los datos nativos a un archivo IFC, los datos pueden transferirse entre aplicaciones. Esta operación es gratuita y está bien documentada, y permite su uso por cientos de otras herramientas y aplicaciones BIM.

El uso del BIM en la obra civil no está tan extendido como lo está en la Edificación. En la edificación los estándares de intercambio de datos entre diferentes plataformas han evolucionado mucho y existe un gran abanico de software que trabaja intercambiando datos entre sí bajo este paraguas del Open BIM.

En los últimos tiempos iniciativas por parte de diferentes Chapters de Building Smart Internacional, de diferentes países han iniciado el desarrollo de formatos de transmisión de datos para el BIM de la obra civil. Estos estándares son IFC Bridge, IFC Alignment, IFC Road & Railways. Esta iniciativa se llama OpenInfra y dio lugar a la creación de una Room, concretamente Infrastructure Room. Pero hoy éstos no están lo suficientemente evolucionados, con lo que los desarrolladores de software aún no tienen una referencia clara hacia dónde ir. Aunque el IFC 4 añadía alguna especificación para BIM Obra Civil, a día de hoy el intercambio de datos bajo ese formato no es satisfactorio.

El hecho de que no esté tan desarrollado el BIM en la obra civil, lleva consigo de que no exista un modelo de intercambio de datos.

Figura 20. Tabla COBie (Fuente: Msistudio)

COBie en AutoCAD Civil 3D

El formato de intercambio COBie no se encuentra todavía desarrollado para C3D. Pero existe una manera en la que pueden llegar a trabajar de manera conjunta. Para ello, el proceso es el siguiente:

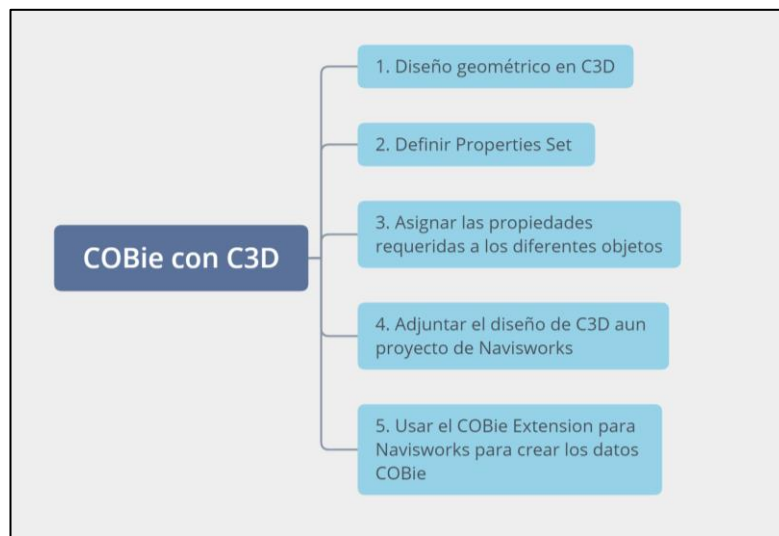


Figura 21. COBie con C3D (fuente: Elaboración propia)

3.2.4 LandXML

Según [9], este formato de intercambio es usado en AutoCAD Civil 3D. La transformación de datos de dibujo de C3D a LANDXML permite realizar lo siguiente:

- **Intercambiar datos.** Importar datos de LandXML en otras aplicaciones de software. Los datos pueden modificarse a continuación y enviarse a clientes y agencias en los formatos requeridos.
- **Transferir o archivar datos.** Transferir datos a otro dibujo de AutoCAD Civil 3D. Asimismo, se pueden archivar datos en un formato común.
- **Convertir unidades.** Exportar datos que utilicen el sistema de medida imperial. Posteriormente, se pueden importar utilizando el sistema métrico para ajustar la escala y convertir los valores.
- **Convertir y rotar coordenadas.** Las elevaciones de los datos se ajustan globalmente

Muchos objetos de C3D se pueden exportar e importar a LANDXML. Además, los datos de las bases de datos de levantamientos se pueden importar y exportar.

Autodesk Civil 3D admite las versiones siguientes de esquema de LandXML:

- LandXML-1.0
- LandXML-1.1
- LandXML-1.2

3.2.5 iModel

Según [10], los i-Models se usan para compartir la información en proyectos asociados con el ciclo de vida de una infraestructura. Este formato de intercambio es la propuesta de Bentley. Permite compartir toda la información relativa a los componentes, entre ellas las propiedades de la empresa, la geometría, los gráficos y las interrelaciones en un formato inteligente y abierto con una interfaz estándar para aplicaciones comerciales, de ingeniería, de obra y de operaciones múltiples proveedores.

Las características de este formato de intercambio de información son:

- Son autodescriptivos. No requiere disponer de la aplicación con los que se ha creado la información para poder ver los gráficos y consultar con precisión los datos incluidos.

- Recuerdan cuál es su procedencia. Conservan información sobre su origen y el estado inicial de los datos que contienen.
- Es un formato de intercambio seguro. Son archivos de sólo lectura, compatibles con contraseñas, certificados de protección, fecha de caducidad, etc.
- Son un formato abierto ya que existen diferentes aplicaciones, plug-ins e interfaces para visualizar, consultar e integrar los datos.
- Es preciso desde un punto de vista geométrico y conservan toda la información empresarial.

3.2.6 Shape

El formato ESRI Shapefile (SHP) es un formato de archivo informático desarrollado por la compañía ESRI, quien crea y comercializa software para Sistemas de Información Geográfica. Es un formato de intercambio muy utilizado con aplicaciones de información geográfica, y es útil para la topografía del terreno.

Un shapefile es un formato vectorial de almacenamiento digital donde se guarda la localización de los elementos geográficos y los atributos asociados a ellos. No obstante, carece de capacidad para almacenar información topológica. Es un formato multiarchivo, es decir esta generado por varios archivos informáticos.

3.2.7 Open Geospatial Consortium (OGC)

Según [11], el Open Geospatial Consortium (OGC) fue creado en 1994 y agrupa (en Febrero 2009) a 372 organizaciones públicas y privadas. Su fin es la definición de estándares abiertos e interoperables dentro de los Sistemas de Información Geográfica y de la World Wide Web. Persigue acuerdos entre las diferentes empresas del sector que posibiliten la interoperación de sus sistemas de geoprocésamiento y faciliten el intercambio de la información geográfica en beneficio de los usuarios.

A continuación, se describen los estándares OGC de mayor relevancia:

- Web Mapping Service (WMS)
- Web Feature Service (WFS)
- Web Coverage Service (WCS)
- Catalog Service for the Web (CSW)
- Gazetteer (WFS-G)
- Web Processing Service (WPS)
- Keyhole Markup Language (KML)

Este es un formato de intercambio que se utiliza sobre todo para aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica.

4 PROYECTO DE LA OBRA

Este trabajo de fin de grado se basa en el proyecto de la variante entre las poblaciones de Beas y Trigueros. El tramo que se va a modelar tiene una longitud de 6 km de los aproximadamente 16,7 km que tiene de longitud en el proyecto de partida.

Se trata de una carretera convencional que realiza la variante de poblaciones por el oeste de Beas y al este de Trigueros. La carretera que se propuso en el proyecto de partida es de tipo C-100 (Carretera convencional, 1 calzada, 100 km/h de velocidad de proyecto). En un futuro se utilizará como primera calzada de la futura autovía Zafra-Huelva.

Hay que destacar que la obra de la variante ya está finalizada, y se han obtenido los ensayos del control de calidad. Por tanto, nuestro modelo se basará en toda la información de este proyecto. La sección transversal será la misma que se ha construido, pero se modelará el terraplén mediante su proceso constructivo por tongadas en C3D.

4.1 Situación inicial

Según [12], la carretera N-435 Badajoz-Huelva es una carretera convencional cuyo trazado atraviesa el sur de la provincia de Badajoz y la totalidad de Huelva de norte a sur, conectando ambas provincias, en cuyo trazado se localizan las mayores concentraciones de población de la zona centro de la provincia de Huelva.

Funciona como eje de vertebración norte-sur de la provincia de Huelva, con carácter de vía fundamental de acceso y salida de la zona centro, conectando las vías de recorrido este-oeste por las zonas norte y sur de la provincia, y de comunicación interprovincial provincia de Huelva con Badajoz.

Se trata de una carretera convencional con carriles de 3,5 metros y arcenes de 1,5 metros.

El tramo objeto del presente proyecto se desarrolla entre los P.K. 205,8 y 218,8, en cuyo itinerario se atraviesa los núcleos de Beas y Trigueros para finalizar poco antes del enlace con la Autopista del Quinto Centenario (A-49).

Los cruces con las carreteras locales se realizan a nivel. En la localidad de Trigueros presenta dos intersecciones con carriles centrales para los giros a la izquierda. Al paso por las poblaciones existen intersecciones reguladas por semáforos.



Figura 22. Variante de las poblaciones de Beas y Trigueros (Fuente: Radio Valverde)

4.2 Características de la Variante

El trazado transcurre en todo momento por terreno llano o ligeramente ondulado, sin necesidad de rampas o pendientes de inclinación notable. Como consecuencia, existen desmonte y terraplenes de poca altura habiendo un gran equilibrio en el movimiento de tierras.

Se preveían 23 obras de drenaje a lo largo de la traza y 19 estructuras formadas por 6 viaductos, 8 pasos superiores de caminos, 5 pasos inferiores, 1 de carretera, 2 de caminos y 2 de arroyos. En nuestro TFG, se trabajará en el diseño de una obra de drenaje transversal y una estructura tipo viaducto.

Rellenos

Los rellenos previstos presentan, en general alturas máximas inferiores a los 10 m, presentándose las mayores alturas en los terraplenes de acceso a los viaductos proyectados. En concreto, la altura máxima se alcanzará en el relleno R-14, en el estribo de acceso al Viaducto de Los Charcos, con 11,6 m de altura en eje en el P.K. 8+180.

En lo que se refiere a la sección tipo a adoptar para los rellenos del tramo, se dispondrá un terraplén homogéneo en aquellos rellenos situados junto a los desmontes excavados en los materiales paleozoicos y sus suelos de alteración (Pz), así como en los materiales areno-limosos del Mioceno de base (Tg).

En el caso de los rellenos situados junto a los desmontes excavados en las arcillas y margas azules (Tm), se propone un terraplén “encapsulado”, con la siguiente sección tipo:

- Cimiento, de espesor variable, formado por los materiales de la formación Tm, estabilizados con un 2,5 % de cal.
- Núcleo, de espesor variable, formado por los materiales de la formación Tm sin estabilizar.
- Espaldones de 4 m de anchura (medida en horizontal), con el material de la formación Tm mezclado con un 3,5 % de cal.
- Coronación de 1 m de espesor, formada con el material de la formación Tm mezclado con un 3,5 % de cal.

En la siguiente figura se muestra un esquema de la sección tipo descrita.

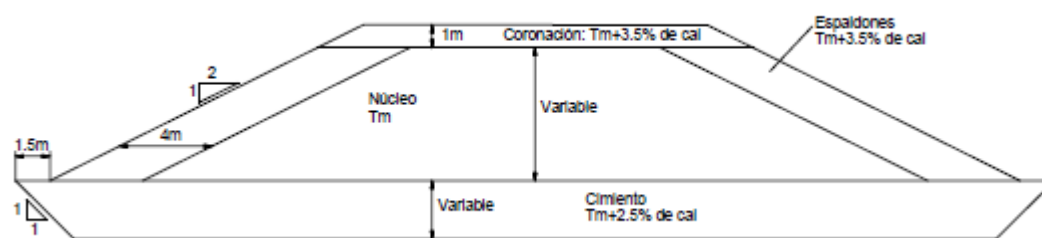


Figura 23. Esquema de la sección tipo (Fuente: Proyecto de partida)

El tronco dispondrá de una sección tipo de la carretera convencional o primera calzada de la autovía constituida por:

- 1 calzada de 2 carriles de 3,5 m cada uno.
- 2 arcenes de 1,75 m cada uno.
- 2 bermas (exteriores) de 1,10 m cada una.

Firmes y pavimentos

La categoría de tráfico de pesados considerada en el tronco de la carretera a efectos de dimensionamiento del firme es T2 de acuerdo con la Norma 6.1-IC. En el caso de los viales que conforman el enlace Beas Norte y la reposición de la carretera N-435 en dicho enlace (eje 32) la categoría de pesados considerada será T32. Soportarán una categoría de tráfico T31 los viales de los enlaces de Beas Norte –Trigueros Sur (ejes 48, 49, 50 y 51), excepto las glorietas y el ramal 5 (eje 110), que soportarán una categoría de tráfico T2, aunque se unifican

a categoría T2 en todo el enlace. La reposición de la carretera N-435 en los enlaces Beas Sur – Trigueros Norte y Trigueros Sur, y los viales de este último enlace soportarán una categoría de tráfico T2 (ejes 87, 92, 96, 93, 86, 84, 82).

Como conclusión, la sección de explanada y firme adoptada en el tronco es la siguiente: Explanada tipo E-3.

Sobre suelos tolerables (tipo 0), está compuesta por las siguientes capas:

- Capa de 30 cm de espesor de suelo estabilizado in situ E-EST3.
- Capa de 50 cm de espesor de suelo adecuado S1.

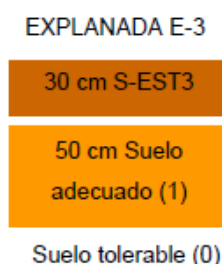


Figura 24. Explanada (Fuente: Proyecto de partida)

Nombrando las mezclas bituminosas de acuerdo a la OC 24/2008, aunque se pone también la antigua denominación) la sección tipo 231 se compone de las siguientes capas:

- Rodadura de mezcla bituminosa discontinua en caliente tipo BBTM 11B BC50/70 (antigua M10) de 3 cm de espesor.
- Riego de adherencia con emulsión bituminosa tipo ECR-1
- Intermedia de mezcla bituminosa en caliente tipo AC22 bin BC50/70 S (antigua S-20) de 7 cm de espesor.
- Riego de adherencia con emulsión bituminosa tipo ECR-1
- Base de mezcla bituminosa en caliente tipo AC32 base BC50/70 G (antigua G-25) de 10 cm de espesor.
- Riego de imprimación tipo ECI
- Subbase de zahorra artificial de 25 cm de espesor.
- Riego de curado tipo ECR-1.

En el siguiente esquema se muestra la sección dispuesta en el tronco:

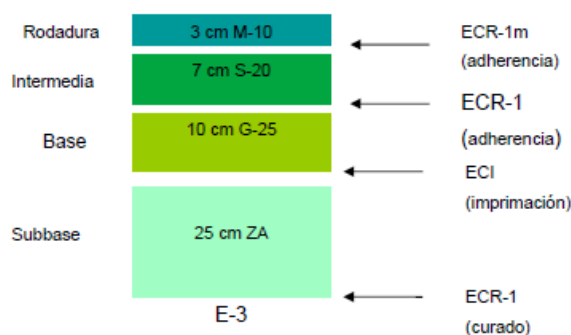


Figura 25. Sección de firme (Fuente: Proyecto de partida)

El arcén izquierdo de la actuación tiene una anchura de 1,75 m, pero al convertirse en un futuro en el carril interior de una autovía con una anchura de 1 m, se considera que tiene una anchura no superior a 1,25 m (1,00 m), según Norma 6.1 IC, debe tener una disposición de capas de rodadura e intermedia de firme igual que la de la calzada y en prolongación de ésta.

El firme del arcén derecho de la actuación, de 1,75 m, se convertirá en un futuro en el carril exterior de la calzada derecha de la autovía, de 2,5 m de ancho, por tanto, siguiendo los mismos criterios que en el tronco de la carretera, tendrá la siguiente disposición:

- Rodadura de mezcla bituminosa discontinua en caliente tipo BBTM 11B BC50/70 (antigua M10) de 3 cm de espesor.
- Riego de adherencia con emulsión bituminosa tipo ECR-1.
- Intermedia de mezcla bituminosa en caliente tipo AC22 bin BC50/70 S (antigua S-20) de 7 cm de espesor.
- Riego de imprimación tipo ECI
- Base de zahorra artificial en dos capas de 20 cm y 15 cm de espesor cada una.

Como relleno de bermas se estará a lo dispuesto en la Orden Circular 17/2003. Como relleno para impermeabilización de bermas se utilizará un suelo cuyo cernido, o material que pasa por el tamiz 0,080 UNE, sea superior al veinticinco por ciento en peso, bien de tipo tolerable (con un contenido de sales solubles, incluido el yeso, inferior a dos décimas porcentuales (0,2%), adecuado o seleccionado).

4.3 Archivo CAD

El archivo DWG que se nos aportó contenía la siguiente información:

- Superficie del terreno natural, con la que se trabajará se denomina Carto_2018.
- Información procedente de catastro.
- Alineación de la carretera.
- Secciones transversales de la carretera. Estas secciones se eliminaron ya que no se necesitaban.
- Perfil longitudinal y rasante de la carretera.

El archivo DWG que se utilizará para realizar el trabajo se basará en el que se aportó, aunque se realizó un filtrado de la información que contenía.

Por lo tanto, hay que remarcar, que no se realizó el diseño de la alineación, así como de la rasante de la carretera. La superficie del terreno natural aportada, solamente se eliminarán algunas capas que no resultan de interés, pero utilizaremos las mismas curvas de nivel que disponen.

Se diseñan unas nuevas secciones transversales con el software Subassembly Composer, las cuales disponen de las mismas capas constructiva que la obra ya construida, pero realizaremos el terraplén por tongadas para poder introducir información proveniente de los ensayos del control de calidad.

4.4 La ejecución de la obra

La variante de Beas y Trigueros, la cual el Gobierno de España ha ejecutado, se inauguró el día 9 de Julio de 2019. Se trata de una variante de 16,85 km de longitud, Carretera N-435 del P.K 203+000 al P.K 220+500. Es un eje vertebrador para la provincia de Huelva y da respuesta a dos líneas estratégicas en materia de infraestructuras: la seguridad y la mejora de la movilidad.

Las obras discurren por los términos municipales de Beas, Trigueros y San Juan del Puerto. El trazado cumple con los parámetros máximos y mínimos de velocidad de proyecto de 100 km/h.

El proyecto consta de 59 obras de drenajes transversales, 30 de ellas acondicionadas como pasos de fauna. Se han construido un total de 25 estructuras, 9 pasos superiores, 7 pasos inferiores, 6 viaductos y 3 estructuras de enlace.

El ministerio de fomento subió a la plataforma de YouTube un video sobre la puesta en servicio de la variante de Beas y Trigueros N-435: <https://www.youtube.com/watch?v=u3rMrygBRTA> .



Figura 26. Inauguración de la variante de Beas y Trigueros (Fuente: Periódico Huelvaya.es)



Figura 27. Obras de la variante (Fuente: Huelva informa)



Figura 28. Variante finalizada (Fuente: infonuba)

5 LAS HERRAMIENTAS BIM DE OBRAS LINEALES

Las herramientas BIM presentes en el mercado para el diseño de obras lineales se encuentran en constante desarrollo, ofreciendo actualizaciones cada año para mejorar y ser más competitivas.

5.1 Páramo de Herramientas BIM para obras lineales

Entre otras, podemos mencionar:

- AutoCAD Civil 3D

Es la herramienta con la que trabajamos en este Trabajo de Fin de Grado. C3D permite flujos de trabajo de modelado de la información para la construcción, esta herramienta permite la aceleración de las tareas de diseño, análisis e implementación de cambios.

La casa de Autodesk es consciente de que el mundo BIM está avanzado, y por ello no se quiere quedar atrás, por lo que las últimas actualizaciones de esta herramienta están focalizadas en avanzar en la dirección del BIM.

- Power Civil

Es una herramienta desarrollada por Bentley, la cual es completa y versátil que ofrece soluciones integrales para el diseño y construcción de todo tipo de proyectos de ingeniería y de obras.

Power Civil automatiza el diseño y modelado de emplazamientos junto con modelos relacionados para exploraciones de situaciones en tiempo real. Diseñadores, ingenieros y topógrafos comparten un único entorno.

- ISTRAM

ISTRAM es una aplicación para el diseño de proyectos de ingeniería civil. A diferencia de otros programas, el entorno de trabajo está específicamente diseñado para permitir al ingeniero mecanizar los datos geométricos de los diferentes elementos del proyecto, obteniendo resultados gráficos e información de manera inmediata, sin necesidad de acudir a cuadros de diálogos complejos.

Su estructura modular permite escoger desde una configuración sencilla, que permite proyectar carreteras y autopistas, hasta otras más complejas que contemplan proyectos de ferrocarriles, de distribución y abastecimiento mediante redes de tubos, de refuerzo y mejoría de las vías existentes, de proyectos de urbanización o extracción de minerales, entre otros.

- OpenRoads e InRoads

Los desarrolladores Autodesk y Bentley han puesto en el mercado InRoads y OpenRoads respectivamente. Ambas están orientadas al campo de la preingeniería y se focalizan en realizar una planificación previa del encaje y en el análisis del impacto de las infraestructuras sobre el terreno. Su utilidad se centra en proporcionar información para la toma de decisiones en las etapas tempranas de diseño. Hay que diferenciar entre ambas que Open Roads es completo como C3D e InRoads es una herramienta de prediseño.

Estos softwares permiten definir de forma genérica las alineaciones en planta y verticales de obras lineales, las secciones tipo... También pueden introducir estructuras como puentes cuando es necesario salvar desniveles.

Uno de los puntos negativos de estos softwares es que la información que generan no es válida para generar proyectos. No obstante, permite realizar importantes estimaciones para determinar los movimientos de tierras, y su encaje en el terreno. Los datos generados se pueden exportar a otros softwares como AutoCAD Civil 3D, y con ello tener un flujo de trabajo más abierto y poder desarrollar una continuidad en el proyecto en base a la planificación inicial establecida.

5.2 Aplicación con Civil 3D

AutoCAD Civil 3D es el software ofrece la empresa Autodesk para el diseño de obra civil con tecnología BIM.

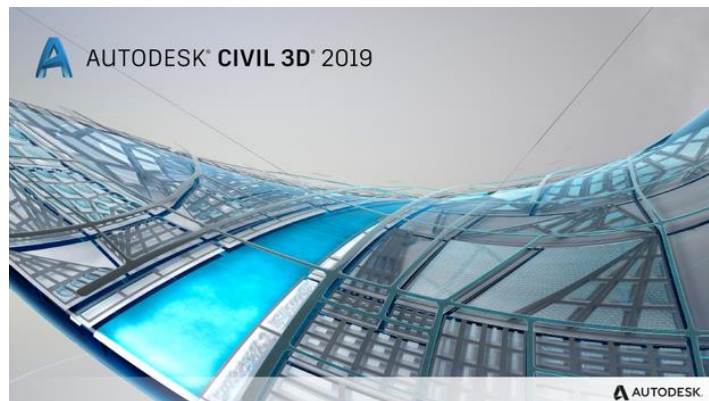


Figura 29. Ventana inicio AutoCAD Civil 3D (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

La elección de la herramienta AutoCAD Civil 3D se establece en función de los siguientes criterios:

- C3D permite exportar el fichero de diseño en distintos formatos. Entre estos formatos, se encuentra el formato IFC, formato de intercambio estándar entre software BIM.
- Posee módulos de diseño específicos en el ámbito de la obra lineal. Mediante la herramienta Subassembly Composer, se puede generar una sección tipo totalmente personalizable al proyecto.
- Herramienta que podemos utilizar en nuestro equipo de trabajo.
- Licencia temporales o educativas para llevar a cabo el trabajo de forma legal. En nuestro caso, disponemos de una licencia educativa de Autodesk gracias a la Universidad de Sevilla.

5.3 Funcionalidades de la Herramienta

Las funcionalidades que posee C3D facilita los procesos BIM y acelera las tareas de diseño, análisis e implementación de cambios. Entre ellas, podemos destacar:

- Modelado de obra lineal: el modelado de la obra lineal ayuda a crear modelos avanzados para diseñar carreteras, autopistas y otros sistemas de transporte.
- Se pueden desarrollar trabajo con superficies, alineaciones, explanaciones e incluso redes de tubería.
- Permite generar la documentación necesaria para las obras lineales, explanaciones, movimiento de tierras o sistemas de tuberías.
- Interoperabilidad con herramienta de modelado BIM 3D. permite exportar los modelos en distintos formatos. Se puede exportar los modelos a Infraworks, una herramienta que permite visualizar la obra.
- Interoperabilidad con herramientas de planificación y costes.

6 EL DISEÑO DE LAS SECCIONES CONSTRUCTIVAS

El diseño de la sección transversal consiste en la descripción de todos los elementos de la carretera en un plano de corte vertical normal al alineamiento de la calzada, con el cual nos permite definir la disposición y dimensiones de los elementos, en el punto que corresponde a cada sección y su relación con el terreno natural.

Las secciones transversales varían de un punto a otro de la vía, ya que las condiciones del terreno y las características del trazado van cambiando a lo largo de la carretera.

Las secciones transversales de la carretera son diseñadas en función del terreno natural y del tráfico que vaya a soportar. En nuestro trabajo, se nos aportaron dichas secciones transversales, a las cuales se le realizó un estudio para comprobar su correcto diseño. Este estudio lo podemos encontrar en el **A1.4 – Justificación Sección Transversal**.

Para el diseño de estas secciones en el programa C3D, tenemos que hablar del término subensamblajes. Un subensamblaje en AutoCAD Civil 3D es un objeto que define la geometría de un componente utilizado en una sección de obra lineal.

A la hora de diseñar la sección transversal de la obra, nos enfrentamos a que no existe un subensamblaje que pueda definirla. Nos enfrentamos a crear un nuevo ensamblaje que nos permita obtener la sección tipo deseada.

El diseño del subensamblaje de nuestra sección transversal se puede realizar:

1. A través de la paleta de herramientas y los catálogos de herramientas, C3D ofrece subensamblajes preconfigurados para componentes como carriles de circulación, bordillos, pendientes de talud y cunetas.
2. Mediante el software Subassembly Composer de Autodesk, el cual nos proporciona una interfaz para componer y modificar subensamblajes complejos sin tener que realizar procesos de programación.

6.1 Sub-Ensamblajes en CIVIL 3D

Los subensamblajes de AutoCAD Civil 3D son objetos de dibujo de AutoCAD que previamente configurados permiten el diseño de secciones tridimensionales de carreteras y otras estructuras de obra lineal. Mediante los ensamblajes podemos modelar las secciones tipo de nuestra carretera y luego este junto a la alineación y el perfil, permitirá generar la obra lineal. La obra lineal es un modelo tridimensional que combina la definición planimétrica de la alineación, la altimetría de un perfil y la configuración transversal del ensamblaje.

AutoCAD Civil 3D aporta una biblioteca de subensamblajes generales, donde nos podemos encontrar de los siguientes tipos:

- Carriles.
- Bordillos.
- Arcenes.
- Medianas.
- Básicos.
- Intersecciones.
- Genéricos.

Los subensamblajes que proporciona C3D presentan un comportamiento inteligente integrado. Se adaptan a condiciones como peraltes y requisitos de corte o relleno. Por ejemplo, un subensamblaje de pendiente del talud posee taludes variables que cambian automáticamente según la profundidad de corte existente a lo largo de la obra lineal. Si las condiciones de relleno se exceden una profundidad determinada, el arcén se ampliará automáticamente para incluir una barrera.



Figura 30. Catálogo ensamblajes de C3D (Fuente: Autodesk)

En la ilustración superior podemos ver un catálogo que dispone C3D para definir cada tipo de ensamblajes.

Además de subensamblajes que ya se pueden usar, C3D permite crear objetos personalizados de subensamblajes a partir de polilíneas.

6.2 SUBASSEMBLY COMPOSER

Autodesk Subassembly Composer proporciona una interfaz para componer y modificar subensamblajes complejos sin tener que realizar procesos de programación. Los desarrolladores de subensamblajes pueden componer visualmente subensamblajes complejos, así como simular el comportamiento de los subensamblajes aplicando diferentes condiciones y valores objetivo.

Este software de Autodesk permite crear geometrías complejas e inteligentes para el diseño de secciones típicas, como:

- Diseño de secciones inteligentes.
- Parametrización de elementos, esto nos permite ajustar las secciones posteriormente a las necesidades o los cambios que pueda tener el proyecto.
- Geometría compleja.
- Toma de decisiones.
- Cambios según sea necesario.
- Ajustes al modelo del terreno.

En el **Anejo 1 – Guía BIM para modelos 3D con AutoCAD Civil 3D 2019, A1.1 Guía Software Subassembly Composer** podemos entender mejor el funcionamiento de esta herramienta, en el cual se explica toda su interfaz y el flujo de trabajo para desarrollar un subensamblaje.

Se eligió utilizar este Software para desarrollar el subensamblaje, ya que podemos diseñar una sección la cual generé una capa por cada tongada del terraplén. En los subensamblajes que nos aportaba la paleta de herramientas de Civil 3D, sólo existe un subensamblaje que se llama *DesmonteOTerraplénCondicional*. Este subensamblaje aplica diferentes ensamblajes, como subensamblajes genéricos de vínculos, ensanchamientos, cunetas o intersecciones, a un ensamblaje en función si existe una condición de desmonte o terraplén. Es decir, que define el terraplén o desmonte mediante un vínculo desde el punto de unión con el ensamblaje hasta el terreno. Esto dará lugar a una cáscara que no nos sirve para introducir información en el modelo.

6.2.1 Subensamblajes de la sección tipo de la obra lineal

A la hora de diseñar la sección tipo de la carretera, nos enfrentamos a que no existía un subensamblaje que vaya diferenciando cada capa de la sección y cree un terraplén por tongadas. Por lo tanto, nos enfrentamos a crear un subensamblaje que sirva para toda la carretera, ya que diferenciara entre terraplén, desmonte y media ladera, y cree las tongadas del terraplén como diferentes shapes.

Se empezó investigando el software Subassembly Composer, para entender adecuadamente cada herramienta que dispone el programa. Luego se desarrolló un ensamblaje básico que constará con las capas del firme y realizará los taludes como los ensamblajes que nos aporta C3D. este ensamblaje se denominó sección básica. Este ensamblaje se utilizó para realizar una prueba con la alineación que disponíamos en C3D, para ver las zonas de terraplén y desmonte de la obra lineal.

A continuación, sabiendo que nuestro objetivo es tener un terraplén formado por tongadas, se investigó las herramientas que dispone SC (Subassembly Composer), con el fin de encontrar un camino para desarrollar nuestro objetivo. Como las herramientas que dispone SC no están lo suficientemente avanzadas para generar un terraplén por tongadas, se decidió parar esta investigación. Este apartado corresponde con la sección inteligente, que mas adelante se describen las herramientas que fueron investigadas.

Como no se encontró la forma de realizar una sección ‘inteligente’, se decidió llevar a cabo una labor de programación en el software SC para desarrollar un ensamblaje que tuviera las cualidades que nos marcamos al principio del trabajo. El desarrollo de este ensamblaje requirió muchas horas, ya que la máxima cota roja en el perfil longitudinal es de 11,50 metros, y eligiendo tongadas de 0,30 metros, corresponde a 30 tongadas. Entonces se tenía que especificar en el programa SC cada una de estas tongadas.

6.2.1.1 Sección Básica

Modelo clásico, en la cual, el terraplén es creado como una única capa. Es decir, no está formado por tongadas el terraplén.

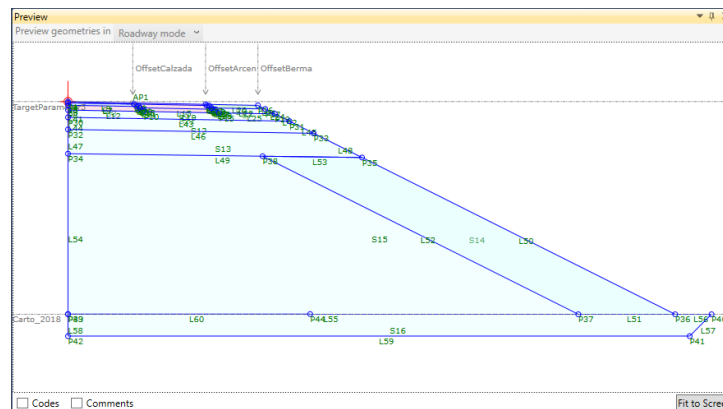


Figura 31. Subassembly sección básica terraplén (Fuente: Propia)

Como observamos en la Ilustración 6, el terraplén está formado por un núcleo y un espaldón, los cuales son una única forma que en función de la cota roja aumenta o disminuye de altura. También se añadió una capa de saneamiento de terraplén.

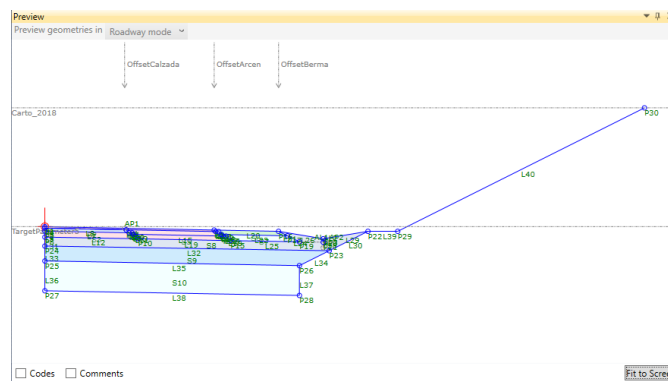


Figura 32. Subassembly sección básica desmonte (Fuente: Propia)

En la ilustración 7, observamos la sección básica en desmonte que se aplicaría en los casos en los que la rasante se encuentra por encima del terreno natural. Esta sección dispone de una cuneta en el pie de talud para drenar el agua que exista en la carretera, y también se colocó una capa de saneamiento de desmonte.

6.2.1.3 Sección Constructiva

Este subensamblaje crea una representación transversal del conjunto de carril de circulación, arcén, berma y taludes de desmonte o terraplén, en función de donde se encuentre el terreno.

El punto de enlace se encuentra en el borde interior del carril sobre la superficie de la rasante. Esta componente la podemos enlazar al lado derecho o izquierdo.

Modelo en el cual, el terraplén se asemeja a la realidad constructiva, está formado por tongadas. Definirlo por tongadas, nos permitirá luego introducirle la información constructiva a cada tongada del terraplén.

Flujo de trabajo:

Los pasos que seguir en este subensamblaje son los siguientes:

1. Definición de las opciones generales.
2. Definición de los parámetros de entrada y salida.
3. Definición de los parámetros objetivos.
4. Construcción del diagrama de flujo del paquete de firme.
5. Definir decisión de terraplén o desmonte en función de la cota del terreno.
6. Construcción del diagrama de flujo de desmonte.
7. Construcción del diagrama de flujo de terraplén.
8. Colocar códigos a puntos, líneas y shapes.
9. Almacenamiento del subensamblaje y su importación a C3D.

1. Definición de las opciones generales.

El único campo obligatorio que hay que rellenar es el nombre del subensamblaje.

- Subassembly Name: Constructiva01.
- Podemos añadir una imagen de ayuda de la sección transversal.

2. Definición de los parámetros de entrada y salida.

- Side: Right (Derecho)
- AnchoCarril: 3,5 m. Anchura del carril de circulación.
- AnchoArcen: 2 m. Anchura del arcén.
- AnchoBerma: 1,5 m. Anchura de la berma.
- AnchoCun: 1,8 m. Anchura de la cuneta.
- Talud: 2:1. Pendiente del talud.
- SlopeCun: 16,67%. Pendiente transversal de la cuneta.
- Pendiente2: 2%. Pendiente del 2% para bombeo transversal.
- Pendiente4: 4%. Pendiente del 4% para bombeo en bermas.
- EspesorRod: 0,03 m. Profundidad o espesor de la capa de rodadura del pavimento.
- EspesorInt: 0,07 m. Profundidad o espesor de la capa intermedia del pavimento.
- EspesorBas: 0,10 m. Profundidad o espesor de la capa base del pavimento.
- EspesorZah: 0,20 m. Profundidad o espesor de la capa de base zahorra.
- EspesorSE3: 0,30 m. Profundidad o espesor de la capa Suelo Estabilizado 3 de la explanación.
- EspesorSA: 0,25 m. Profundidad o espesor de la capa de Suelo Adecuado de la explanación.
- EspesorRel1: 0,25 m. Profundidad o espesor de la capa superior de relleno de la berma.
- EspesorRel2: 0,20 m. Profundidad o espesor de la capa inferior de relleno de la berma.
- EspesorTon: 0,30 m. Profundidad o espesor de las tongadas del terraplén.
- EspesorSanT: 1,50 m. Profundidad o espesor del saneamiento en terraplén.

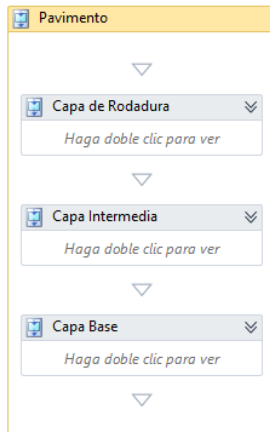
Todos estos parámetros se les puede cambiar el valor en las propiedades del ensamblaje en C3D.

3. Definición de los parámetros objetivo.

- Carto_2018: Surface. Superficie cartográfica de referencia del modelo.
- Se podría colocar un offset de carril, para delimitar los bordes de la calzada, pero antes se debe de crear una polilínea en C3D y asignarle ciertas propiedades de línea objetivo.

4. Construcción del diagrama de flujo del paquete del firme

El pavimento del firme de la calzada estará formado por:



- Capa de rodadura con una profundidad de 0,03 metros. Esta capa se ha extendido hasta el borde del carril. Está definida con los parámetros de EspesorRod, AnchoCarril y Pendiente2.
- Capa intermedia con una profundidad de 0,07 metros. Esta capa se extiende hasta el borde exterior del carril de circulación más el sobreancho que dispone.
- Capa base con una profundidad de 0,10 metros. Se extiende igualmente que las anteriores hasta el borde del carril más los sobreanchos.

Figura 34. Sequence Pavimento Subassembly Composer (Fuente: Propia)

El firme de la calzada está formado por el pavimento que se acaba de describir y la zahorra artificial, que igualmente se extiende hasta el límite borde carril mas los sobreanchos.

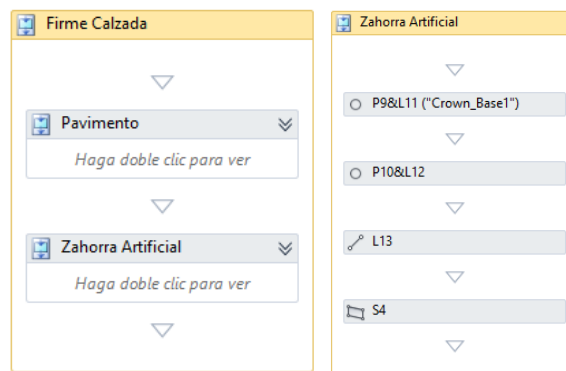


Figura 35. Sequence Firme Calzada y Zahorra Artificial (Fuente: Propia)

El firme del arcén a su vez está formado por el pavimento y la zahorra artificial:

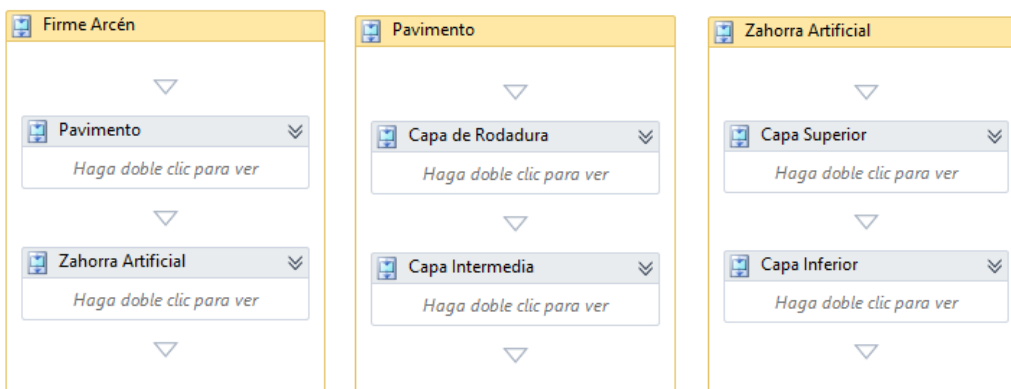


Figura 36. Sequence Firme Arcén (Fuente: Propia)

La berma estará formada por dos Sequence, Relleno 1 y Relleno 2:

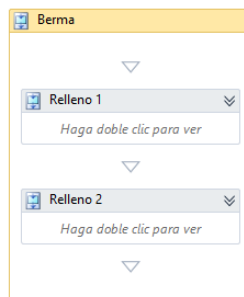


Figura 37. Sequence Berma (Fuente: Propia)

Cada capa se ha creado dentro de un sequence, con el fin de que quede ordenado el flujo de trabajo.

5. Definir decisión de terraplén o desmonte en función de la cota del terreno.

A partir de aquí el diagrama de flujo se divide en dos partes: desmonte o terraplén. Hablamos de desmonte cuando la rasante de la carretera se encuentra por debajo de la superficie del terreno, y hablamos de terraplén cuando la rasante se encuentra por encima de la superficie del terreno. Por lo que, en función de si la diferencia entre la cota de la rasante y la cota del terreno es negativa o positiva tendremos un caso u otro.

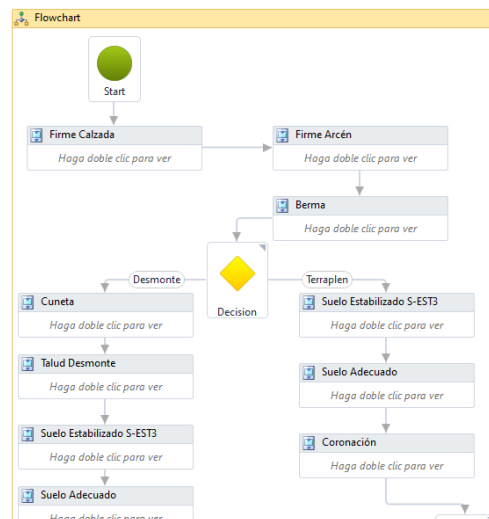


Figura 38. Decisión Desmonte - Terraplén (Fuente: Propia)

La decisión que se ha utilizado en el diagrama es la siguiente:

Punto del borde exterior inferior del relleno2 → P19.

- Condición: $P20.DistanceToSurface(Carto_2018) \leq 0$
- FalseLabel: Terraplén.
- TrueLabel: Desmonte.

6. Construcción del diagrama de flujo de desmonte.

El desmonte estará formado por las siguientes partes:

- Cuneta: se ha definido una cuneta para que las aguas del talud de desmonte y del bombeo de la carretera terminen en esta. La cuneta es de tipo triangular, tienen un ancho horizontal de 1,80 metros.
- Talud: para que el talud llegue a la superficie, se utiliza el tipo de punto: Slope to Surface, que nos sirve para que desde un punto origen con una pendiente dada intercepte con la superficie del terreno. Se utiliza un talud de 2:1.
- Suelo estabilizado: capa de suelo estabilizado con una profundidad de 0,30 metros.
- Suelo adecuado: capa de suelo adecuado con una profundidad de 0,50 metros. Estas dos capas, poseen un talud de 2:1.

- Saneo Terreno: tanto en el desmonte como en el terraplén se realiza un saneamiento del terreno, el saneamiento en desmonte esta formado por 4 capas.

7. Construcción del diagrama de flujo de terraplén.

Como en el desmonte, también se han definido las dos capas de suelo estabilizado y suelo adecuado, con las mismas características. También se ha definido la coronación del terraplén con cuatro capas de diferentes espesores. La importancia en este punto es el proceso para definir las tongadas del terraplén.

El fin de nuestro trabajo es introducir información constructiva a cada capa de la infraestructura de la carretera, por ello, se ha de definir sólidos para cada capa. Este era el principal problema, no existe una función en el programa SAC, la cual nos defina las tongadas automáticamente, generando shapes. Por lo que se han tenido que estudiar otras alternativas para que cada tongada forme un shape (sólido) que después nos permita definir en C3D como un sólido. Este proceso es el siguiente:

1. Decisión:

- Borde exterior inferior de la última capa: PEI (Punto Exterior Inferior).
- Parámetro de entrada: EspesorTon
- Superficie: Carto_2018.
- Condición: $PEI.DistanceToSurface(Carto_2018) < EspesorTon$
- True: Genera una capa de saneamiento del terreno.
- False: Genera una tongada con una profundidad EspesorTon (este parámetro se define en las propiedades del ensamblaje).

2. La siguiente decisión se unirá con un link a la tongada que se ha generado con una profundidad de tongada EspesorTon.

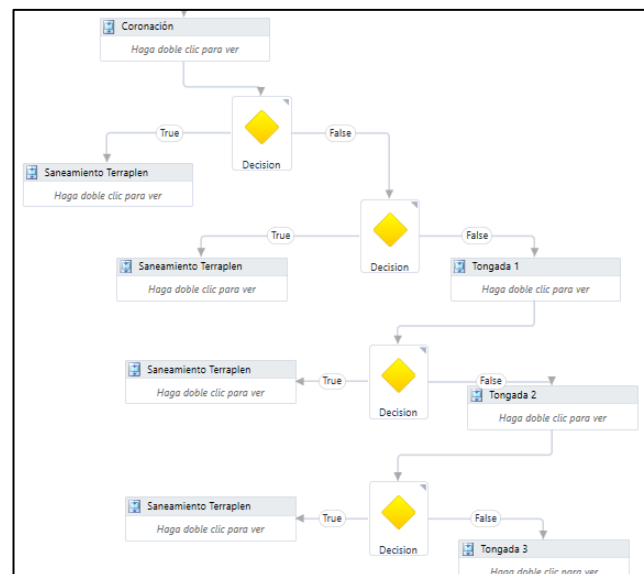


Figura 39. Flowchart terraplén (Fuente: Propia)

Siguiendo esos pasos se definieron todas las tongadas del terraplén. La máxima cota roja es de 11,50 metros, por lo que se tuvieron que realizar hasta 32 tongadas el diagrama de flujo.

Se tuvieron problemas en la formación de los shapes (formas), ya que se producían paradas prolongadas.

Es importante ir colocando los códigos de los puntos, vínculos y shapes a medida que se avanza en el diagrama de flujo.

8. Colocar códigos a puntos, líneas y shapes.

Este punto es muy importante. Los códigos del ensamblaje sirven para crear la obra lineal. Los ensamblajes se disponen en la alineación cada x metros, y a través de los códigos que tenga cada elemento se unen entre sí los ensamblajes y dan lugar a la obra lineal. Por ello, es muy importante definir adecuadamente los códigos.

Los códigos de los shapes, una vez que se tenga la obra lineal en C3D, se extraerán los sólidos de la obra lineal,

y gracias a estos códigos se podrán aplicar estilos y trabajar con ellos.

9. Almacenamiento del subensamblaje y su importación a C3D.

Una vez definido por completo el subensamblaje en Subassembly Composer, guardamos el proyecto y lo importamos a C3D. Una vez importado en C3D, creamos un ensamblaje que disponga al lado izquierdo y derecho el subensamblaje creado.

Para importar un subensamblaje a C3D, se explica en el Anejo 1.

El resultado del ensamblaje en el programa Subassembly Composer es el siguiente:

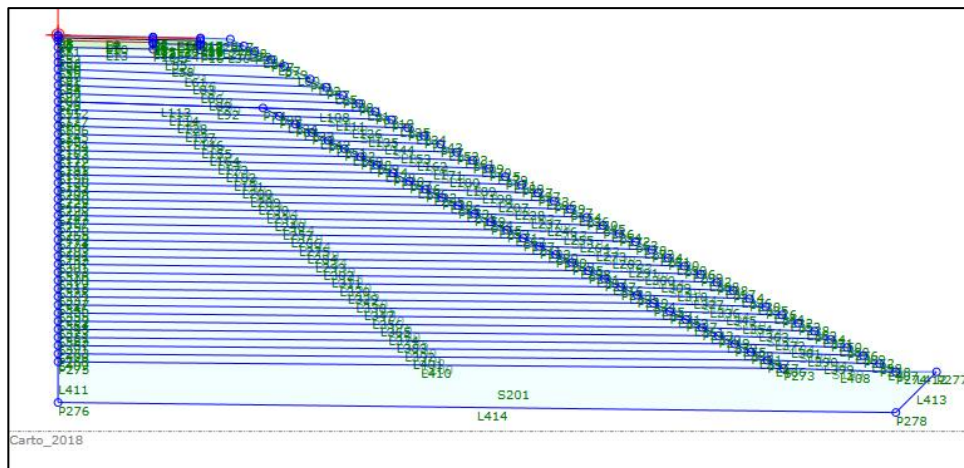


Figura 40. Subensamblaje sección transversal del proyecto (Fuente: Propia)

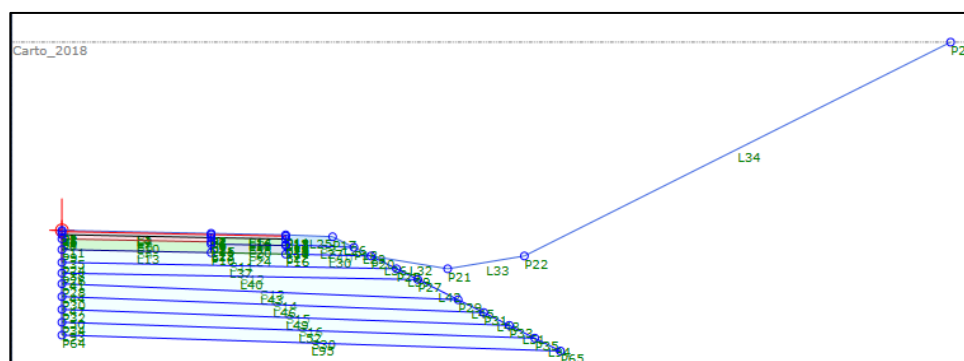


Figura 41. Subensamblaje sección transversal del proyecto (Fuente: Propia)

7 EL MODELO DE LA OBRA LINEAL

El flujo de trabajo para el modelo de la obra lineal se describe a continuación:

El primer paso, es estudiar la superficie del terreno natural que se nos aportó. Esta será el soporte digital donde se implementará la obra. A lo largo del trabajo se distinguirán otras superficies adicionales que se explicarán en el apartado de superficies.

Una vez generado el soporte sobre el que se creará la obra lineal, el siguiente paso es especificar el eje de la carretera sobre el que se construirá la misma. Estamos hablando de la Alineación de la carretera. La alineación de nuestra carretera también se nos aportó con el modelo.

El tercer paso en el flujo de trabajo de modelado de la obra lineal es crear los perfiles longitudinales de la alineación visualizando la superficie del terreno en él. Y una vez creado el perfil del terreno, se procede a diseñar la rasante, esta es la definición vertical del eje. Estos dos elementos también estaban incorporados en el modelo que se nos aportó.

El siguiente paso, es definir la sección tipo de la carretera. A la hora de diseñar esta sección tipo, nos enfrentamos a que no existe ningún ensamblaje capaz de definir nuestros requerimientos. Por ello, se diseña una sección tipo mediante el programa Subassembly Composer.

Con todos estos elementos, se podrá obtener el elemento Corredor u Obra lineal, que será el modelo 3D que se necesita para llevar a cabo la introducción de información de los ensayos de control de calidad.

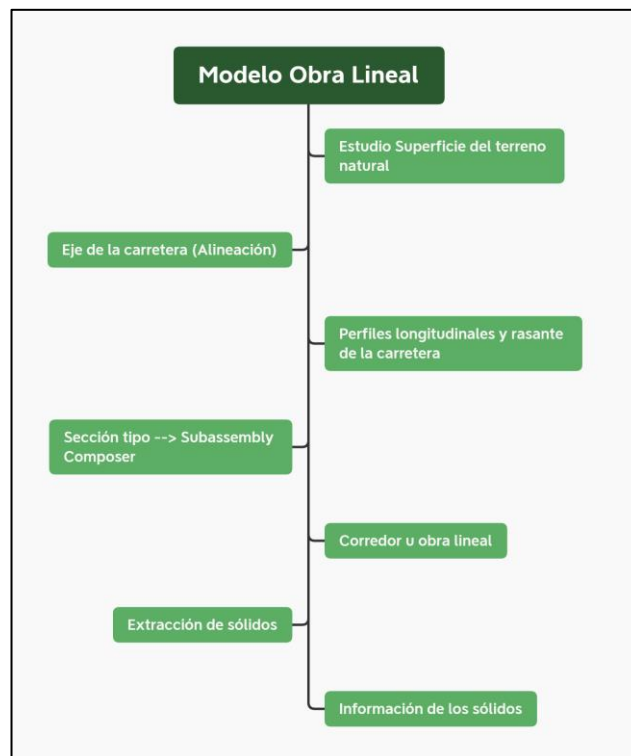


Figura 42. Modelo Obra lineal flujo de trabajo (Fuente: Propia)

7.1 Superficies

Se pueden distinguir varios tipos de superficies a lo largo del trabajo. En nuestro trabajo, utilizaremos tres de las que se van a definir, se tratan de la superficie del terreno, las superficies de la obra lineal y las superficies de explanación, pero el otro tipo tiene también mucha importancia, son las superficies geotécnicas.



Figura 43. Superficies modelo obra lineal (Fuente: Propia)

- Superficie del terreno natural: Carto_2018.
- Superficie explanación transiciones al puente: G1.
- Superficie terreno natural recortada: Recorte.
- Superficie de la obra lineal: Top Carretera.
- Superficie procedente de la unión entre Top Carretera y Recorte: TOP_Carto.

7.1.1 Superficie del Terreno

La superficie del terreno será el soporte sobre el que se ejecutará la obra lineal. Esta superficie nos permitirá más adelante obtener perfiles longitudinales y transversales, así como mediciones y cubicaciones al final del proceso de la obra lineal.

En nuestro trabajo se nos aportó la superficie del terreno, la cual incluía multitud de datos, procedentes de Catastro, datos auxiliares y un modelo digital de elevaciones. Ya venía creada la superficie en el archivo, por lo tanto, a la superficie del terreno se le realizó un filtrado de datos y capas, ya que contenía una gran cantidad de información no relevante.

7.1.2 Superficies de la Obra Lineal

Las superficies de la obra lineal se obtienen al generar el corredor con los ensamblajes. Ya que estos ensamblajes indican los límites entre las distintas capas. Están relacionadas con los vínculos del ensamblaje. Es importante definir bien los códigos de estos vínculos.

Este tipo de superficie se utilizan para realizar mediciones de volumen de desmonte, terraplén y los distintos materiales de la obra.

Se tratan de superficies dinámicas ya que se actualizan al editar la obra lineal. Si en el menú superficie se activa Regenerar – Automático, la superficie se actualiza en cuanto se realiza una edición.

7.1.3 Superficies de Explanación

Este tipo de superficies se obtienen al realizar una explanación. Suelen definir los taludes de desmonte y terraplén de una explanada.

Se utilizarán en las transiciones a las obras de paso, como muros de contención.

7.1.4 Superficies Geotécnicas

Un último tipo de superficie es la generada por el Geotechnical Module (Módulo geotécnico). Las superficies geotécnicas distinguen los distintos tipos de materiales que se encuentran en el subsuelo de la obra.

En nuestro trabajo, no se llevó a cabo el estudio geotécnico del subsuelo de la obra, ya que abarcaría más tiempo del se dispone para realizar un Trabajo de Fin de Grado.

7.2 Alineaciones

El siguiente paso de definir la superficie del terreno, es generar el eje de la carretera. este eje se denomina en C3D Alineación. Las alineaciones se pueden crear como combinación de líneas, curvas y espirales.

Los objetos de alineación pueden representar ejes de carretera, redes de tuberías y otras líneas bases de la construcción. Para el diseño de la alineación se puede crear una polilínea y a partir de ella generar la alineación. O para disponer de un mayor control, se puede utilizar la herramienta de composición de alineaciones.

Las alineaciones se indican en la colección Alineaciones o en una colección Emplazamiento de la ficha Prospector. A partir de estas colecciones, se puede cambiar propiedades de la alineación, generar informes y exportar a LandXML.

Las alineaciones que se disponen en el modelo de nuestra obra lineal son las siguientes:

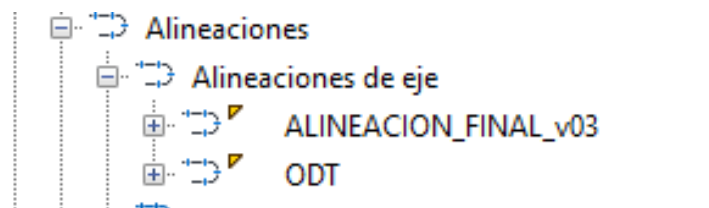


Figura 44. Alineaciones de eje del modelo (Fuente: Propia)

- Alineación de la carretera: ALINEACIÓN_FINAL_v03
- Alineaciones de obra de drenaje transversal: ODT.

La alineación de la carretera

7.2.1 Alineaciones de la carretera

El eje de nuestra obra lineal tiene una longitud de 4645 metros. En el cual se han dispuesto P.K cada 20 metros (en el Anejo 3 – Etiquetas de Alineación, se dispone de una explicación de como editar las etiquetas de la alineación).

Sobre esta alineación tendrá lugar el corredor de la obra lineal.

7.2.2 Alineaciones de Obra de Drenaje Transversal

Este tipo de alineaciones corresponden a las tuberías de las obras de drenaje transversal. Son alineaciones de forma transversal a la obra lineal de la carretera.

7.3 Las secciones Inteligentes

El siguiente paso en el flujo de trabajo, es incorporar las secciones inteligentes como ensamblajes al modelo de C3D.

A la hora de incorporar las secciones inteligentes, nos dimos cuenta de que no existía un ensamblaje que cumpliera los requisitos que necesitábamos para nuestro modelo de obra lineal. Estos requisitos son los siguientes:

- El más importante de todos, es la definición del terraplén por tongadas. La máxima cota roja positiva es de 11,50 metros, la cual, con un espesor de tongada de 0,30 metros, necesitamos un total de 32 tongadas de terraplén en este punto de la obra lineal.
- Diferentes capas en el carril, arcén y berma.
- Capas de saneamiento del terreno, tanto en desmonte como en terraplén.
- Definición de cada capa de la sección transversal como una forma, para luego poder definir los sólidos.

Para introducir la sección transversal de la carretera en C3D, utilizamos los ensamblajes, que son la entidad que mediante el subensamblaje que se ha creado en el software Subassembly Composer, crea la estructura básica de la sección tipo.

Como el subensamblaje que se ha creado en el software SC no aparece en la paleta de herramientas, tenemos que importarlo a C3D, esto viene explicado en el Anejo 1 – Guía BIM del Autodesk Subassembly Composer.

Una vez que ya se encuentra en la paleta de herramientas, arrastramos el subensamblaje a la parte derecha e izquierda del punto de referencia del ensamblaje. de esta manera obtenemos el siguiente ensamblaje:

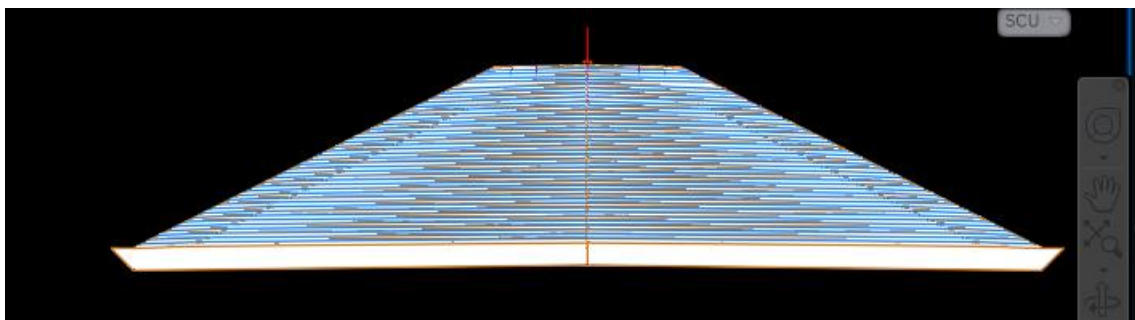


Figura 45. Ensamblaje sección carretera (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

7.4 Generación del corredor

Una vez que ya tenemos todos los elementos, podemos obtener el modelo de la obra lineal. En la obra lineal se aúnan la superficie del terreno, alineaciones, perfiles y ensamblajes. La herramienta C3D se encarga de gestionar los datos, uniendo los ensamblajes a la alineación y al correspondiente perfil longitudinal.

Para realizar la obra lineal, la herramienta de Crear Obra lineal, aparecerá el siguiente menú, donde especificaremos los siguientes parámetros:

- Nombre: Nombre de la obra lineal que se va a crear.
- Descripción: Breve descripción de la obra lineal.
- Estilo de obra lineal: seleccionamos el estilo o creamos un nuevo estilo para la obra lineal.
- Tipo de línea base: Seleccionamos la primera opción, ya que tenemos definido la alineación y el perfil.
- Alineación: seleccionamos la alineación de la obra lineal.
- Perfil: seleccionamos el perfil longitudinal que corresponde a la alineación.
- Ensamblaje: seleccionar el ensamblaje creado para la obra lineal.
- Superficie objetivo: seleccionar la superficie del terreno.
- Mantener activado el campo Definir línea base y parámetros de región.

Figura 46. Menú crear obra lineal (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

Una vez dado en *Aceptar*, nos saldrá el siguiente menú:

Figura 47. Menú parámetros de línea base y de región (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

En el cual se puede:

- Añadir línea base. Se utiliza para desfases o modelos de obras lineales complejos, o si se desea controlar cada componente de la obra lineal.
- Establecer las frecuencias. Frecuencias con la que se aplican los ensamblajes a las obras lineales.

- Establecer objetivos. Permite establecer y editar los valores de los objetos de objetivo del subensamblaje, por ejemplo, superficies, alineaciones y perfiles. Los objetivos son necesarios cuando la geometría de uno o varios subensamblajes de un ensamblaje requieren objetivos de superficie, desfases o elevación para definir la geometría.
- Establecer las regiones. Sirven para dividir la obra lineales en distintas zonas y aplicar diferentes ensamblajes.

7.4.1 Creación de superficies de la obra lineal

Las superficies de la obra lineal sirven para realizar las mediciones de volúmenes y generación de planos de perfiles transversales. En las propiedades de la obra lineal se pueden crear este tipo de superficies.

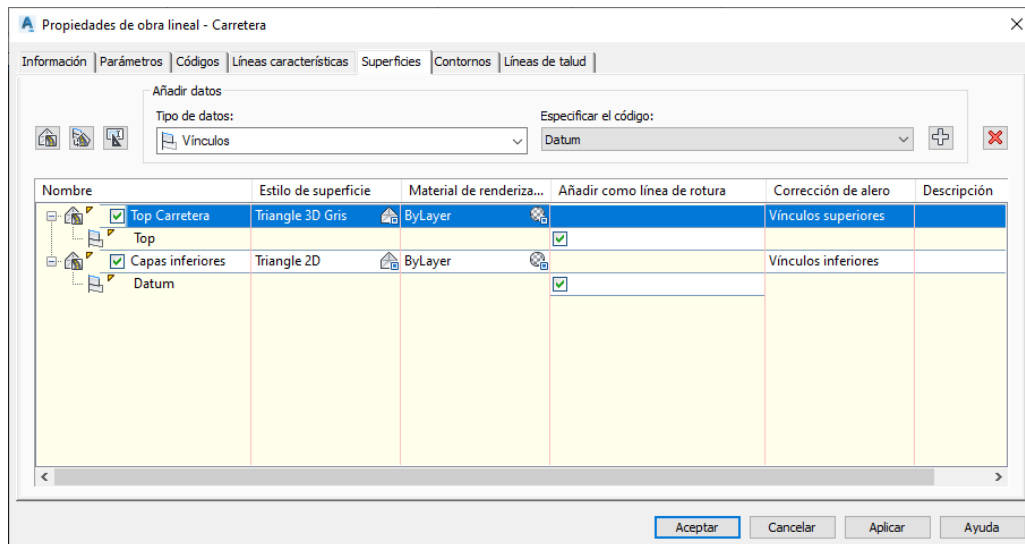


Figura 48. Propiedades de obra lineal (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

Se añaden dos superficies:

- Top Carretera: superficie que recorre los vínculos superiores de la obra lineal.
- Capas inferiores: Superficie que recorre los vínculos inferiores de la obra lineal, en este caso, los correspondientes al movimiento de tierras.

Antes de hacer clic en el botón de *Aceptar*, hay que delimitar el contorno de ambas superficies. Para ello, hacer clic en la pestaña *Contorno*.

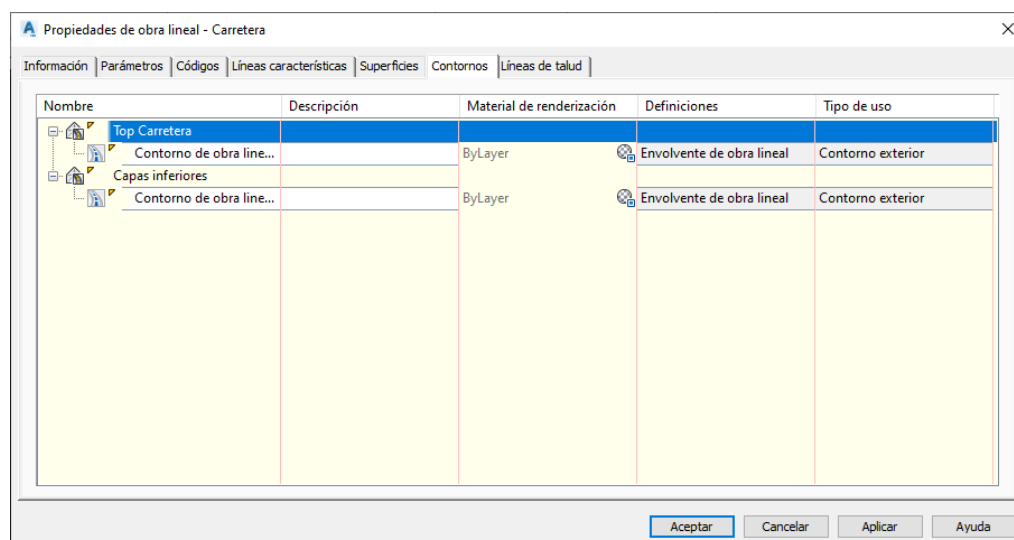


Figura 49. Propiedades de la obra lineal (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

Hacemos clic derecho sobre cada superficie, y pinchamos sobre la opción *Utilizar extensión de obra lineal como contorno*.

A continuación, hacemos clic en *Aceptar* y ambas superficies se habrán creado.

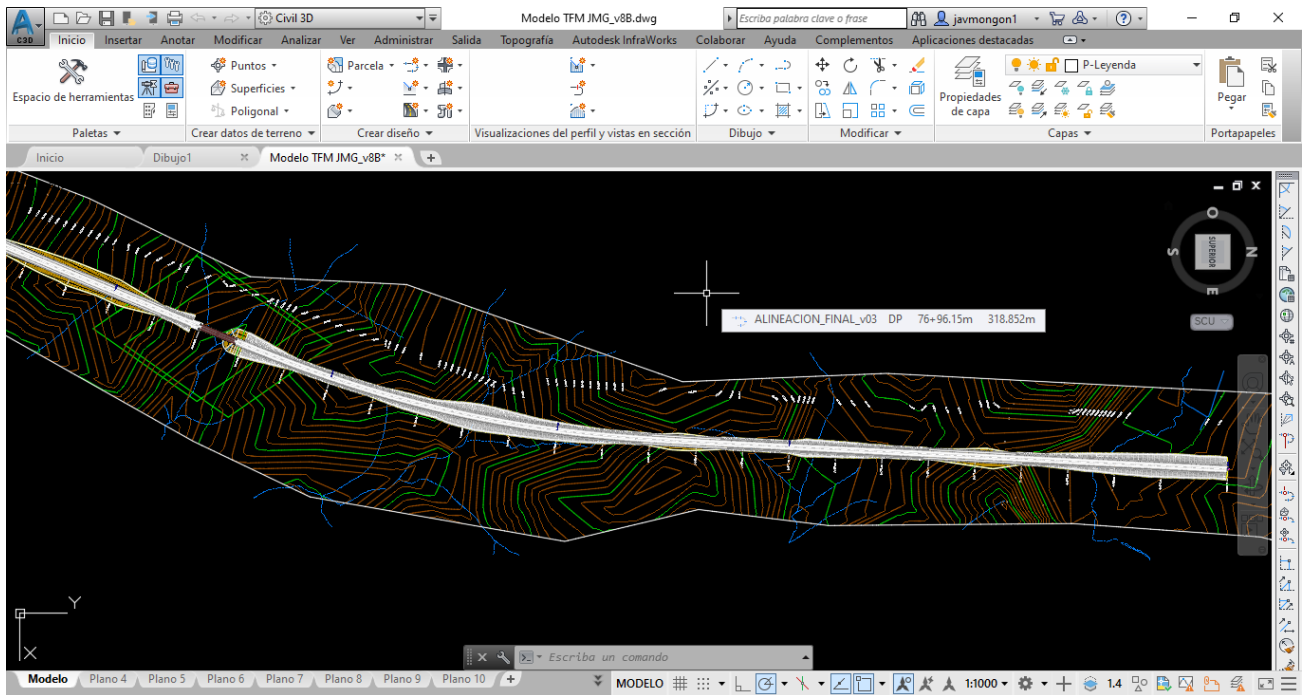


Figura 50. Modelo de la obra lineal (Fuente: Propia)

7.5 Sólidos de la obra lineal

Extraer un modelo de sólidos de la obra lineal, permite calcular propiedades de volumen de cada material e introducir información en las capas de la sección transversal.

Para extraer los sólidos de la obra lineal, hay que hacer clic sobre la obra lineal. De esta forma, aparecerá el menú correspondiente a este elemento, y en el apartado Herramientas de obra lineal se selecciona Extraer sólidos de obra lineal.

Una vez seleccionado, se iniciará un asistente de selección de regiones de la obra lineal para exportar como sólidos, nos dará las siguientes opciones:

- Selección de región R.
- Selección de intervalo de PK.
- Selección mediante polígono P.
- Selección de todas las regiones A.

Una vez seleccionadas las regiones que se desean extraer, nos aparecerá el cuadro Extraer sólidos de obra lineal. En el primer paso del asistente, seleccionamos los elementos de la región que queremos exportar como sólidos, y podemos configurar el color y la estructura de denominación de capa de cada elemento.

En la página Datos de propiedades, podemos especificar las definiciones de conjunto de propiedades que extraer con los sólidos. Aquí debemos especificar los conjuntos de propiedades que se han creado para los sólidos.

En la última página, el primer paso es seleccionar el tipo de objeto que se quiere extraer, hay que elegir entre Cuerpos de AutoCAD 3D, Sólidos de AutoCAD 3D (opción elegida) y Sólidos de AutoCAD 3D (sólidos de barrido, menos precisión). Y, por último, especificamos la opción de salida de los datos, es decir, donde queremos que se almacenen los sólidos que se van a extraer.

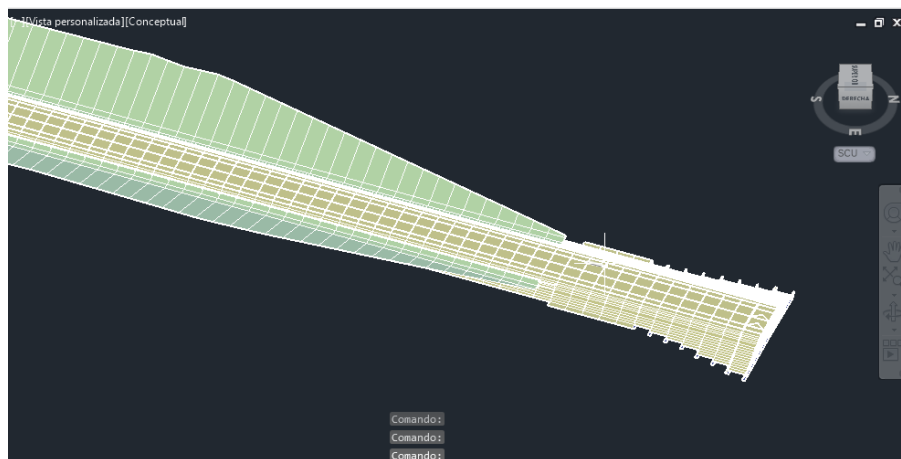


Figura 51. Sólidos Obra lineal (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

8 EL MODELO DE DRENAJE TRANSVERSAL

El objeto del drenaje transversal es restituir la continuidad del drenaje natural del terreno (vaguadas, cauces, ríos, etc) una vez ejecutadas las obras, permitiendo el paso del caudal.

Las obras de drenaje transversal son obras de sección circular o rectangular, es decir provista de embocadura. Normalmente responde a las tipologías de tubo o marco y sus dimensiones son inferiores a las de los puentes.

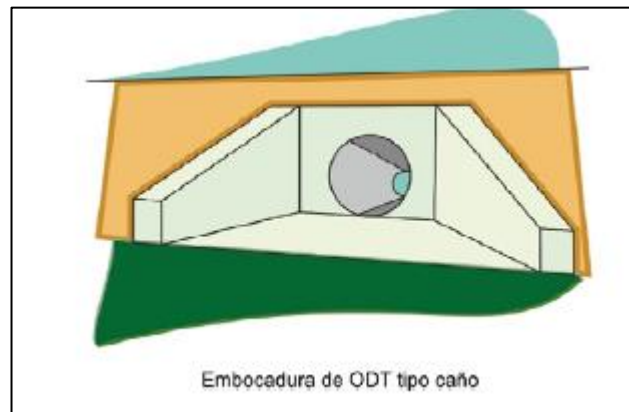


Figura 52. Embocadura de ODT tipo caño (Fuente: Internet Explorer)

La obra de drenaje transversal de la imagen superior es la que se pretende diseñar para nuestro modelo. Está formada por dos aletas, solera y un caño circular.

La introducción de las ODT en los modelos BIM resulta complejo. Ya que las herramientas que se disponen actualmente no están lo suficientemente desarrolladas para este fin.

En nuestro trabajo se han desarrollado dos tipos de modelización de la embocadura de la ODT dentro del terraplén:

1. Método 1: Diseño de ODT con líneas de rotura. Consiste en utilizar líneas de rotura tipo muro en la superficie del terraplén para conseguir las aletas de la embocadura y el marco.
2. Método 2: Diseño de ODT con Explanación. Utilizamos la herramienta de explanación, en concreto Grading to Surface, para generar las aletas y el marco de la embocadura.

Ambos métodos se encuentran explicados en el **Anejo 1 – Capítulo 5. Diseño de Obras de Drenaje Transversal con AutoCAD Civil 3D.**

Los dos métodos que se han desarrollado se obtienen como resultado el siguiente modelo:

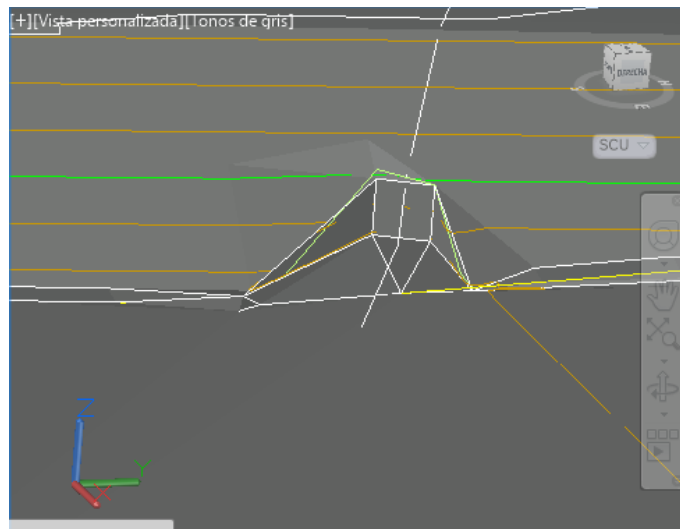


Figura 53. Embocadura 3D (Fuente: Propia)

Consiste en la embocadura de la obra de drenaje transversal, que consta de un marco 2x2. A continuación, habría que desarrollar los sólidos de los muros de las aletas.

Una vez realizadas las embocaduras a ambos lados de la carretera, los pasos a seguir para desarrollar un modelo de Obra de Drenaje Transversal son los siguientes:

- Crear los muros de contención de la embocadura, mediante la herramienta de Modelado 3D de C3D. Utilizar sólidos extrusión.
- Para la tubería consistiría en realizar una obra lineal con un ensamblaje del catálogo de C3D o diseñado por el software Subassembly Composer. Y una vez realizada la obra lineal, extraemos superficie de ella y realizamos el corte entre la superficie de la carretera y la de la obra de drenaje transversal.

Hasta este punto se llegó en el diseño de las Obras de Drenaje Transversal. Las razones por las que se dejó el estudio del diseño de este tipo de obras con el programa Civil 3D son las siguientes:

- Para desarrollar en el programa C3D se necesitó más tiempo de lo previsto, siendo un trabajo con entidad para su investigación con otro Trabajo de Fin de Grado.
- Al tener el terraplén de la carretera diseñado por varias capas (tongadas) se dieron bastantes problemas en los resultados, ya que no se obtenía una solera totalmente plana.

9 LAS OBRAS DE PASO

Las obras de paso como puentes, viaductos son estructuras complejas y requieren bastante análisis junto con una buena validación de diseño. El uso del BIM en las obras de paso es diferente a su uso en otros edificios o estructuras, ya que su propósito es distinto. Se debe construir un modelo 3D detallado con detalle y para su construcción.

El desarrollo de un modelo BIM de un puente, se puede realizar mediante la plataforma Revit o AllPlan Bridge, la cual permite generar un modelo 3D para su diseño estructural.

Antes en C3D se disponía de una herramienta llamada Bridge Modeller que permitía desarrollar un diseño conceptual de un puente. Sin embargo, Autodesk no ha dispuesto esta herramienta en las últimas actualizaciones de AutoCAD Civil 3D, se ha pasado al software Infraworks 360.

Para nuestro modelo, se nos ha aportado un modelo 3D del puente, que se realizó mediante Revit. Y lo hemos introducido en el modelo como un objeto 3D. Por lo tanto, nuestro puente no dispone de información de construcción en el modelo Civil 3D, solo es un objeto en 3D, no siendo propiamente un modelo BIM.

Se han desarrollado dos métodos diferentes para el desarrollo de las transiciones de la obra civil al puente:

1. Método 1: Transición al puente mediante durmiente de hormigón, flotante en terraplén.
2. Método 2: Transición mediante aletas con muro de contención.

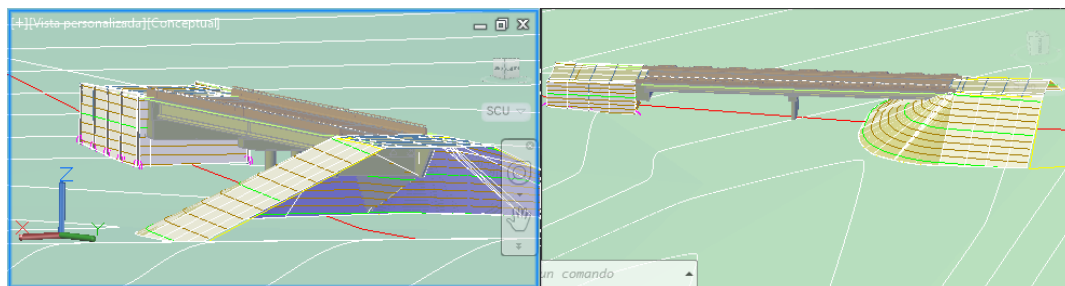


Figura 54. Modelo de transiciones del puente (Fuente: Propia)

Estos dos métodos se explican en el Anejo 1 – Capítulo 6. Diseño de Transiciones a Puentes en AutoCAD Civil 3D.

En las ilustraciones superiores podemos observar cual ha sido el resultado obtenido en el modelo del puente en C3D.

9.1 Modelo de Obra de Paso

Se pretende mostrar el modelo del puente en un visualizador de archivos IFC. En un primer momento, se nos aportó el modelo del puente en un archivo IFC AS-BUILT, el cual lo podemos ver en el visualizador BIM VISION. Este software solo sirve para visualizar modelos BIM que se encuentran en formato IFC 2x3.

Extrayendo el archivo IFC desde AutoCAD Civil 3D del modelo que se nos aportó del puente, e introduciendo el archivo IFC en el software BIM VISION podemos ver otra visualización del puente:

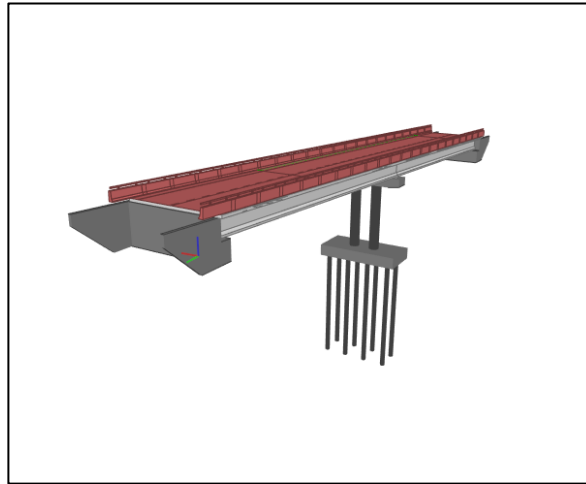


Figura 55. Modelo Puente BIM Vision (Fuente: Propia)

9.2 Ensamblaje en la Obra Lineal

Una visualización del modelo de la obra lineal con el puente insertado es la siguiente:

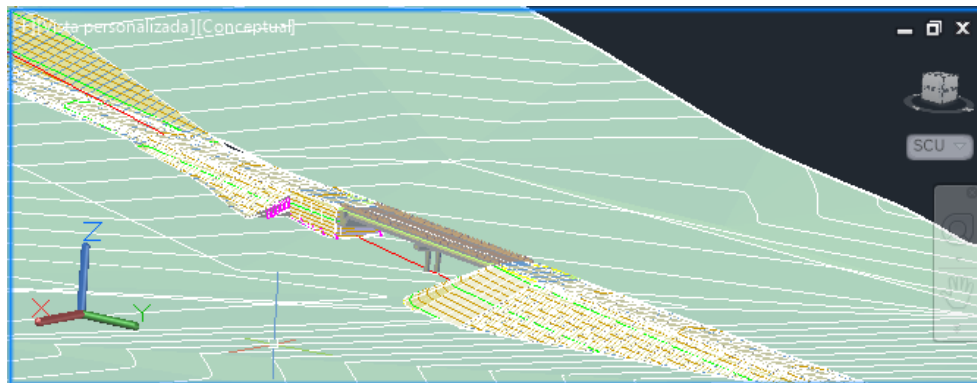


Figura 56. Modelo en Civil 3D puente y transiciones (Fuente: Propia)

Ante todo, este modelo podemos decir que solo sirve para visualizar el encaje del puente. Esto se debe a que el puente no llega a tener continuidad con la obra lineal. Es decir, la región donde se encuentra el puente, la obra lineal se encuentra desactivada (no dispone de ensamblaje en esta región), ya que el modelo puente de Revit tiene integrado el firme.

En cuanto a las transiciones al puente, su finalidad es evitar que el paso de la carretera a la obra de paso, de dimensiones y características diferentes, se realice de un modo brusco. La primera que se describe podría tratarse del sistema durmiente de hormigón. Este tipo de transición podría ser la más adecuada para nuestra obra lineal, ya que se consigue una continuidad entre la obra de terraplén y la obra de transición.

El segundo modelo de transición se utilizó un subensamblaje del catálogo de C3D, que consta de aletas con muro de contención en los márgenes de la carretera. Se produce como podemos ver en la Figura 21, una discontinuidad entre la obra terraplén y la obra de transición.

Por lo tanto, AutoCAD Civil 3D no se encuentra lo suficientemente desarrollado para modelar obras de paso. Se debe utilizar Revit para modelar puente o la herramienta de Infracore que nos permite luego exportarlo a Revit.

10 LA INFORMACIÓN DE CONSTRUCCIÓN EN EL MODELO

Una vez finalizado el modelo 3D de la obra lineal, el último paso de nuestro trabajo es introducir la información de construcción al modelo. Podemos decir que es un proceso de generación de datos de una carretera durante su ciclo de vida. El modelado de la información de construcción para las obras lineales, no se encuentra definido actualmente.

El modelo 3D junto a la información de construcción produce el modelo BIM, que abarca la geometría de la carretera, relaciones espaciales, información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de sus componentes. El objetivo de un modelo BIM es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital.

Contar con toda la información centralizada, y usar la misma en todas las fases de gestión de activo permite optimizar costes, gestionar más eficazmente la información, y facilitar la aparición de relaciones entre módulos y ficheros, que finalmente facilitan el trabajo de cualquier gestor.

En nuestro trabajo, se pretende introducir información de construcción a las diferentes capas de la carretera (capa de rodadura, zahorra, tongadas de terraplén, etc.). La información constructiva consta de partes de ensayos, códigos de obra, tipo y procedencia de materiales, fechas de control, unidades de medida, etc.

En otros programas como Revit ya existen plantillas de información para cada objeto del modelo. En cambio, en C3D no se encuentra definido la forma de introducir parámetros y hay que crearlos. Se dispone de la herramienta de Properties Set, en la cual se incluyen ciertas propiedades del objeto que vienen definidas por defecto.

El flujo de trabajo que se ha llevado a cabo para la definición de la información constructiva del modelo ha sido el siguiente:

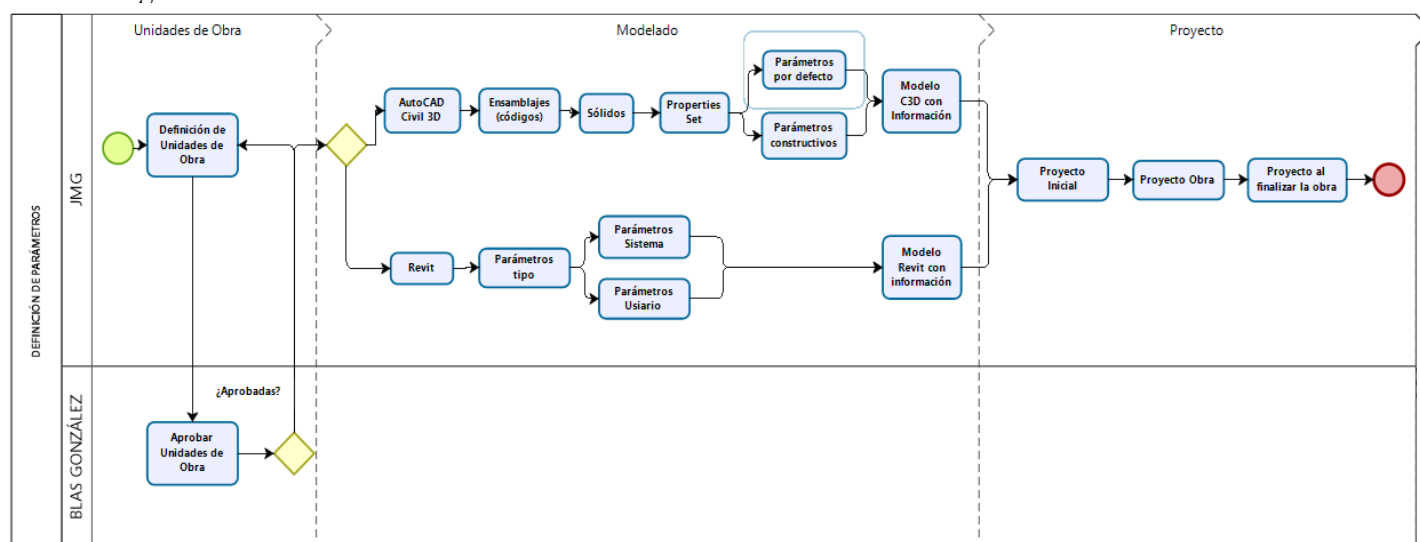


Figura 57. Flujo de trabajo Información modelo (Fuente: Propia)

En primer lugar, se realizó una hoja de Excel con las unidades de obra. Una vez aprobadas por el tutor, el cual nos aportó la tabla Excel de unidades de obra del proyecto real. En esta tabla se definían las unidades de obra en el proyecto Cad y al lado los objetos 3D que le corresponden a cada unidad de obra con los parámetros de obra que queremos introducir. Por lo que, se decidió utilizar esta tabla de parámetros aportada por el tutor.

Una vez definidos los parámetros de obra, hay que decidir cuál es el programa más adecuado para modelar la información de cada objeto de la mejor manera. En nuestro trabajo nos centraremos en los objetos que se pueda incorporar la información de construcción con C3D. En este caso, los únicos objetos que se puede introducir la

información en nuestro trabajo son las capas que conforman la carretera.

A continuación, cuando ya se tiene modelada la información constructiva del proyecto inicial de obra, hay que añadir otros campos ya que la información constructiva en obra puede cambiar.

Podemos ver en la siguiente imagen, una parte del Excel que se nos aportó, en el cual se definen los parámetros a introducir en el modelo 3D.

PROYECTO CAD (PROSER)				MODELO 3D (TeamBIMCivil)								
Id	Codigo Pto	Descripcion Proyecto	Nº de Plazas Localización en Planos Proyecto	Objetos 3D			Ud.	Medicion	Material	Parametros		
				Codigo BIM	Descripcion / Familia	Tipo de				Parametro 1 Formato	Parametro 2 Formato	Parametro 3 Formato
1	301.01.01	Excavacion		301.01.01	Solido Excavacion	C3D	m3		TN	Fecha Control	ID Lote Control	Conformidad
2	320.02.01	Excavacion		320.02.01	Capa de Desmonte	C3D	m3		TV	Fecha Control	ID Lote Control	Conformidad
3	321.01.01	Excavacion		321.01.01	Solido Excavacion	C3D	m3		TN Vertedero	Fecha Control	ID Lote Control	Conformidad
4	330.01.01	Terraplen		330.01.01	Capa de Terraplen	C3D	m3		TN Tolerable	Fecha Control	ID Lote Control	Conformidad
5	330.01.03	Terraplen		330.01.03	Capa de Terraplen	C3D	m3		TN Marginal	Fecha Control	ID Lote Control	Conformidad
6	330.01.04	Coronacion Terraplen		330.01.04	Capa de Terraplen	C3D	m3		TN Adecuado	Fecha Control	ID Lote Control	Conformidad
7	330.01.22	Coronacion Terraplen		330.01.22	Capa de Terraplen	C3D	m3		Brastamo	Fecha Control	ID Lote Control	Conformidad

Figura 58. Tabla parámetros de unidades de obra (Fuente: Propia)

10.1 Properties Sets

Apoyandonos en [13], las Properties Set se trata de un conjunto de características atribuidas a tanto entidades de AutoCAD como objetos de C3D. Estos atributos pueden referirse a atributos intrínsecos de la geometría del objeto, como el área, el volumen, la longitud de una línea, etc. O bien puede referirse a otras características como el nombre, origen, etc.

Muchos atributos se encuentran definidos por defecto, mientras que se pueden crear otros tipos de parámetros. A estos atributos se le añadirá información automática o manualmente.

Por ejemplo, un sólido 3D de AutoCAD tiene propiedades por defecto como capa, color y tipo de línea. El volumen del sólido no es una propiedad por defecto que se puede ver en la paleta de propiedades. Ahora bien, al configurar y utilizar un conjunto de propiedades para sólidos 3D que contienen una propiedad de volumen, se podrá ver el volumen en la paleta Propiedades. Además, se pueden añadir otro tipo de propiedades como Tipo de material, procedencia del volumen, etc.

En las páginas de ayuda de Autodesk existen multitud de tutoriales de cómo crear Properties Set, sin embargo, a continuación, se introducirá el procedimiento de como añadir información constructiva a los sólidos 3D de nuestra carretera.

En primer lugar, debe accederse al menú *Administrar* y luego hacer clic sobre *Definir conjunto de propiedades (Properties Set)*.

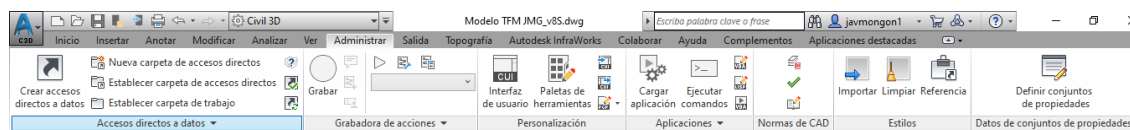


Figura 59. Menú Administrar de AutoCAD Civil 3D (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

En el visor denominado *Administrados de estilos*. En él hacemos clic derecho sobre Definición de conjunto de propiedades y luego pinchando en Nuevo, se creará un nuevo estilo.

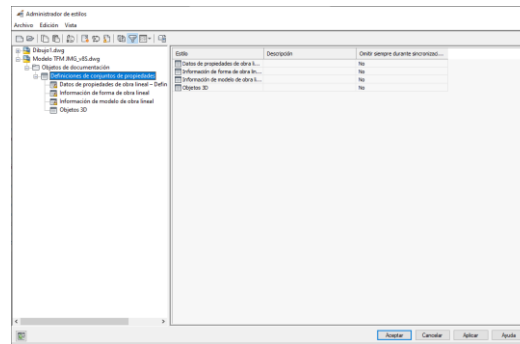












Figura 60. Administrador de estilos (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

Entonces, dentro de este nuevo estilo, aparecen tres pestañas para configurarlo:

- General: en esta primera pestaña se especificará el Nombre del estilo y su descripción, como en cualquier elemento de C3D.
- Aplicar a: en esta segunda pestaña aparecerán todos los tipos de elementos que se pueden crear en C3D, de los cuales se seleccionarán aquellos a los que queremos que se aplique el nuevo estilo que se va a crear.
- Definición: en esta última pestaña permite definir el conjunto de propiedades que se aplicarán a los elementos que hemos seleccionado anteriormente. Existen diferentes propiedades a introducir, estas se sitúan en el lado derecho del visor.
 - Agregar definición de propiedad manual:  Este tipo de propiedad se introduce manualmente a medida que avanza el trabajo desde el menú de Propiedades del elemento. Permite introducir el nombre de la propiedad y luego especificamos su descripción, tipo, origen, valor predeterminado, etc.
 - Agregar definición de propiedad automática:  Introduce propiedades que se calculan de forma automática.
 - Agregar definición de propiedad de fórmula:  Permite introducir un nombre una fórmula para calcular la propiedad deseada.
 - Agregar definición de propiedad de ubicación:  Agrega información acerca de la ubicación del elemento.
 - Agregar definición de propiedad de clasificación:  Es un conjunto de propiedades guardadas que se pueden asignar a elementos de la obra civil diseñada. Permite realizar el seguimiento de los elementos por estado de construcción, fase de proyecto, etc.
 - Agregar definición de propiedad de material:  Permite definir distintas propiedades acerca del material del elemento.
 - Agregar definición de propiedad de proyecto:  Agrega propiedades acerca el proyecto.
 - Agregar definición de propiedad de anclaje:  Agrega propiedad acerca del anclaje del elemento.
 - Agregar definición de propiedad gráfica:  Permite introducir una propiedad gráfica, seleccionando la imagen de origen y la propiedad a la que se refiere.
 - Eliminar definición de propiedad:  Permite eliminar la propiedad seleccionada.

Una vez que se ha definido el conjunto de propiedades, hay que asignarle los atributos a cada elemento. Para

ello, tenemos que seguir los siguientes pasos:

Seleccionando el elemento al que queremos añadir los atributos, y luego pinchando en sus propiedades, nos saldrá la siguiente ventana:

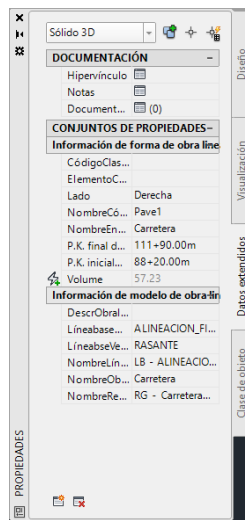


Figura 61. Propiedades Sólido 3D (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

En el cuadro de propiedades, tendremos cuatro pestañas: *Diseño*, *Visualización*, *Datos extendidos* y *Observaciones*. Hacemos clic en *Datos extendidos*, que es donde se encuentran las *Properties Set* o *Conjunto de Propiedades*.

A continuación, para que aparezca las propiedades que hemos definido, pinchamos en el icono:

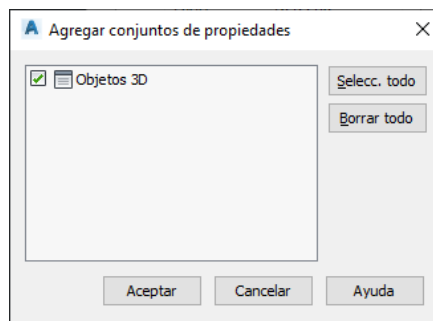


Figura 62. Agregar conjunto de propiedades (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

En el cual, nos aparecerán los conjuntos de propiedades que se han definido anteriormente. En el seleccionamos el conjunto que queremos que aparezca en las propiedades del elemento que se ha seleccionado anteriormente.

Una vez hecho esto, ya nos aparecerá en la sección de *Datos extendidos* el conjunto de propiedades. Además, en *Datos extendidos*, existe una zona en la que podemos añadir documentos, notas e hipervínculos. Esta zona se llama *Documentación*.

10.2 Aplicación al caso estudio

En nuestro trabajo, se incorporó la siguiente información constructiva:

- Código BIM.
- Unidad de medida.
- Material.
- Fecha de Control.
- ID Lote Control.
- Conformidad (Sí o No)
- Partes de Ensayo. Los partes de ensayo irían en Documentos.
- Tipo/Procedencia Material.
- Observaciones.
- Ensayos en PDF.

En la siguiente imagen, podemos ver un ejemplo de los atributos de las propiedades del sólido seleccionado. En este caso, se trata de la capa de rodadura. Se le añadió en Documentos de referencia, un archivo pdf.

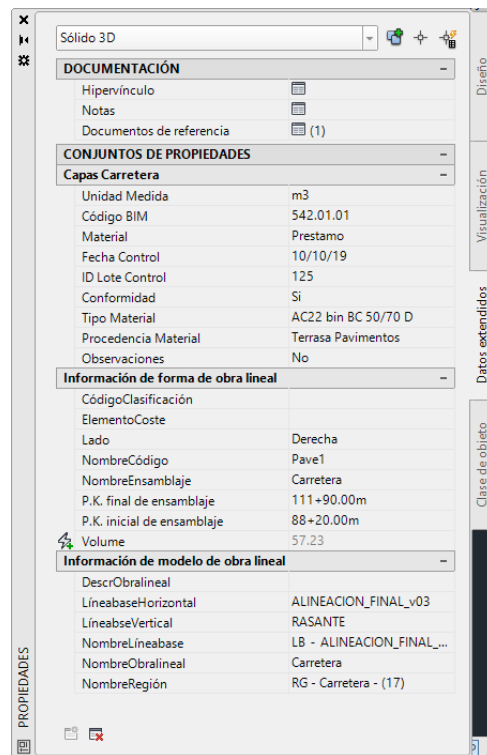


Figura 63. Properties Set sólido 3D (Fuente: AutoCAD Civil 3D)

Los ensayos que se añaden al conjunto de propiedades del modelo se realizaron para comprobar que las capas de la obra cumplían con características marcados al principio de la obra. Solo se añadieron a un tramo de 500 metros de la carretera, ya que de esta manera podemos trabajar con un archivo de C3D de poco peso. Además, los ensayos de control de calidad se suelen realizar para tramos de 500 metros.

10.3 Exportación del IFC carretera

C3D permite exportar a otros formatos de intercambio de datos, para este caso, el más interesante se trata del formato de intercambio IFC. Para poder exportar al formato IFC, los objetos tienen que ser sólidos. Por lo tanto, una vez que extrajimos los sólidos de la obra lineal, y le introducimos la información de los ensayos de los controles de calidad, exportamos la prueba piloto de 500 metros al formato IFC.

Una vez que tenemos el archivo IFC, se puede visualizar en el software BIM VISION. Se puede ver como se han conservado las propiedades de las diferentes capas. En la imagen inferior, se puede ver las propiedades de la capa de suelo estabilizado con cemento.

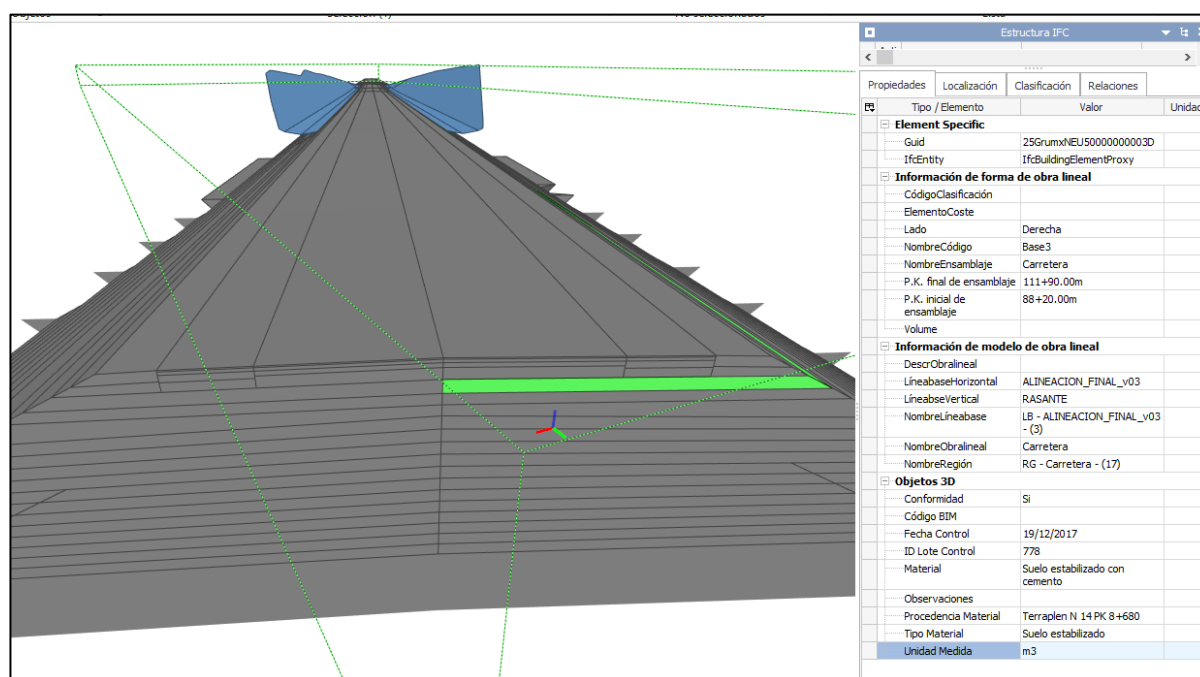


Figura 64. Sólidos Obra Lineal BIM VISION (Fuente: Elaboración propia)

11 ENTREGABLES

Una vez realizado el flujo de trabajo completo para llevar a cabo el modelo AS-BUILT de la infraestructura lineal, los entregables son entre otros los planos Planta general de la variante, que se encuentran en el **Anejo 4 Planos Modelo Civil 3D**.

12 CONCLUSIONES

En este capítulo se establecen las conclusiones obtenidas, tras un exhaustivo trabajo de la aplicación de la tecnología BIM a un proyecto AS-BUILT de infraestructura lineal, así como las conclusiones derivadas de la utilización del software AutoCAD Civil 3D.

Tecnología reciente

BIM es una tecnología reciente que no se encuentra consolidada en las obras civiles, en especial en las infraestructuras lineales. Sin embargo, si existe gran cantidad de información procedente de otras aplicaciones de la metodología BIM, como por ejemplo en la Arquitectura. Esto lo decimos, ya que puede servir como base para avanzar en la aplicación BIM en las infraestructuras lineales.

Trabajo con obras lineales en AutoCAD Civil 3D

El flujo de trabajo en el diseño de las obras lineales se encuentra bastante estandarizado, ya que los pasos a seguir son claros. Por lo que el trabajo se puede estructurar en partes para que cada miembro avance en una rama u otra.

Gracias a la herramienta AutoCAD Civil 3D se pudo desarrollar la sección tipo de forma personalizada. Uno de los aspectos que se buscaban desde que se comenzó el trabajo, fue que la obra lineal se modelara según su proceso constructivo. Este aspecto se llegó a conseguir, pero conlleva bastante tiempo la programación de este tipo de secciones, ya que no existe modelo para ello.

La limitación del equipo informático puede ser un problema a la hora de trabajar en tres dimensiones. Las tarjetas y memorias gráficas entran en conflicto, que dan lugar a paradas prolongadas. Esto se dio tanto en el desarrollo de la sección tipo, ya que hay que definir multitud de capas, y también se dio en el programa C3D, ya que el trabajo con obras lineales de larga longitud es imposible en este tipo de ordenadores. Para solucionar este problema, se puede dividir la obra lineal en varios modelos parciales.

En cuanto a la obra lineal obtenida con la sección transversal tipo, tiene lugar el problema de continuidad en las capas inferiores de la obra lineal. Es importante la correcta definición de los códigos en el ensamblaje, ya que a partir de ellos es como se unen los diferentes ensamblajes en la obra lineal. Con ello no queremos decir que en nuestro trabajo se haya realizado mal este aspecto, sino que es muy complicado definir los códigos en las partes inferiores de la sección definida por tongadas.

La exportación de sólidos parece ser una opción visual interesante, ya que podemos observar si se ha diseñado correctamente el subensamblaje. en la exportación de sólidos fue cuando se apreció de que es complicado la continuidad de la obra lineal en las capas inferiores. Los archivos donde se extraen los sólidos suelen tener bastante peso de memoria gráfica del ordenador, por lo que no se puede extraer la totalidad de la carretera como sólidos. Esto no ha tenido influencia en nuestro trabajo, ya que sólo necesitábamos un pequeño tramo para seguir con nuestra investigación.

Obras de paso

No existe un módulo específico en C3D para el diseño de obras de paso. La única manera de la que se pudo realizar es introduciendo el puente como un objeto 3D, el cual solo tiene de interés el aspecto visual que le da al modelo.

Y tampoco existe un modulo específico para el diseño de obras de drenaje transversal. En nuestro trabajo, se realizó las aletas de las obras de drenaje transversal, pero ante la dificultad que supuso, se tuvo que dejar de estudiar este tipo de obras en C3D por la limitación temporal y los problemas que supusieron para el modelo.

Información de la construcción

Este era uno de los objetivos específicos del trabajo, la introducción de información a los sólidos obtenidos de la obra lineal. En el trabajo se llegó a definir los parámetros para los sólidos 3D de la obra, y se introdujo información para algunos sólidos.

El problema que se presentó fue que la información de los campos manuales como tipo de material, procedencia, fecha de control, etc, se tiene que introducir manualmente sólido a sólido. Por lo tanto, es un trabajo que conlleva mucho tiempo. Existen propiedades que se rellenan automáticamente, por lo que con las de este tipo no existen problemas.

13 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo, tras el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado, se proponen nuevas líneas de investigación que se podrían seguir en la disciplina BIM aplicado a infraestructuras lineales.

Trabajo con modelos de longitud real de varios Km

Aunque en este trabajo no se tuvieron problemas con el procesamiento toda el tramo completo. Resultaría interesante investigar hasta donde es capaz de procesar el programa en función del tipo de ordenador que se disponga para el trabajo.

Diseño de ODT

Como se ha indicado en las conclusiones, debido a los problemas y las limitaciones temporales del TFG, no se ha podido modelizar al menos una obra de drenaje transversal en el modelo. Por ello, una de las propuestas de investigación futura debe centrarse en desarrollar una guía sobre el diseño de obras de drenaje transversal en AutoCAD Civil 3D.

También resultaría interesante analizar una vez que se encuentren definidas las obras de drenaje transversal, el comportamiento que tendría la estructura ante un episodio de lluvias.

Puentes

También se ha indicado en las conclusiones, que al no existir un módulo específico para el diseño de obras de paso como puentes en C3D, se tuvo que introducir el puente como un simple objeto 3D en la obra. Por lo que resultaría interesante la investigación del diseño de este tipo de obras con otro tipo de programas y la unión con la obra lineal.

Innovaciones futuras de Subassembly Composer

Una de las partes del trabajo en la que se dedico mayor tiempo fue en el desarrollo de la sección típica de la carretera. Esto vino dado ya que no existía una herramienta en el software Subassembly Composer que generara automáticamente las tongadas del terraplén. Por lo que resulta interesante, estar atento a las futuras actualizaciones de la herramienta.

Introducción de información a toda la obra lineal de forma automática

Como se ha indicado en las conclusiones, no se ha podido introducir información a la totalidad de la obra por el tiempo que conlleva, y no resulta de interés realizar su introducción manual. Por lo que, sería interesante, el uso de programas como Dynamo para introducir la información a los sólidos 3D de forma automática.

Digitalización de las carreteras actuales con metodología BIM

El futuro es la metodología BIM en los proyectos de carretera. Ahora bien, se deberían de hacer más esfuerzos en la digitalización de la red actual de carreteras y conseguir un modelo BIM de estas. No hay que centrarse solamente en las actuaciones nuevas, las cuales representan un pequeño porcentaje de las obras de carreteras actuales, sino conservar las redes actuales con modelos BIM de estas.

Diseño de plantilla de entregables

Resultaría interesante el desarrollo de plantillas para los entregables de un proyecto BIM.

14 REFERENCIAS

- [1] M. Rodríguez, “Integración De Procesos Bim En Levantamiento De Edificios Existentes. Edificio De Laboratorios De La E.T.S.I.E. Campus Universitario Reina Mercedes.,” vol. 11, no. 82, pp. 4883–4892, 2015.
- [2] “APLICACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA EN LA INGENIERÍA CIVIL - DANIEL FELIPE ROJAS PARRA - Medium.” [Online]. Available: <https://medium.com/@2520162037/aplicación-de-la-topografía-en-la-ingeniería-civil-9f5e763c0977>. [Accessed: 24-Oct-2019].
- [3] R. Tomás, A. Cuenca, J. Delgado, and C. Doménech, “Xvi Congreso Internacional De Ingeniería Gráfica Diseño De Un Modelo Geológico-Geotécnico 3D De La Vega Baja Del Río Segura (Alicante, Se España),” 2004.
- [4] Z. G. I. of Technology, “Puentes y BIM, un combo ganador - Blog Ingenieros & Arquitectos,” 2018. [Online]. Available: <https://www.e-zigurat.com/blog/es/puentes-bim-combo-ganador/>. [Accessed: 09-Dec-2019].
- [5] B. Constructivo, “Construyendo puentes con BIM - Revista Constructivo,” 2019. [Online]. Available: <https://constructivo.com/actualidad/construyendo-puentes-con-bim-1559945856>. [Accessed: 09-Dec-2019].
- [6] Teresa Elliot, “BIM en la construcción del puente Fanli | Autodesk LATAM,” 2016. [Online]. Available: <https://blogs.autodesk.com/latam/2017/01/25/bim-en-la-construccion-del-puente-fanli/>. [Accessed: 09-Dec-2019].
- [7] “¿Qué es IFC? • Graphisoft Uruguay.” [Online]. Available: <http://archicad.uy/bim/que-es-ifc/>. [Accessed: 22-Oct-2019].
- [8] Autodesk, “Acerca de la exportación de archivos IFC (Industry Foundation Class) | Civil 3D 2019 | Autodesk Knowledge Network,” 2019. [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/Civil3D-UserGuide/files/GUID-C5C9DEEE-2C46-4094-B350-05829C1ED5DC-htm.html>. [Accessed: 02-Dec-2019].
- [9] Autodesk, “Acerca de la importación y exportación de LandXML | Civil 3D 2016 | Autodesk Knowledge Network,” 2016. [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ESP/Civil3D-UserGuide/files/GUID-C77216E8-09FA-4D63-8182-400E9C2DB0A4-htm.html#targetText=Los comandos de importación y,de dibujo en formato LandXML.&targetText>. [Accessed: 23-Oct-2019].
- [10] Bentley, “¿Qué son los i-models? Comparta información en proyectos AEC.” [Online]. Available: <https://www.bentley.com/es/i-models/what-is-i-model/about-i-models>. [Accessed: 09-Dec-2019].
- [11] Madeja, “Estándares del Open Geospatial Consortium (OGC) | Marco de Desarrollo de la Junta de Andalucía,” *Marco de Desarrollo de la Junta de Andalucía*, 2009. [Online]. Available: [http://www.juntadeandalucia.es/servicios/madeja/contenido/recurso/19-0#targetText=El Open Geospatial Consortium \(OGC,de la World Wide Web](http://www.juntadeandalucia.es/servicios/madeja/contenido/recurso/19-0#targetText=El Open Geospatial Consortium (OGC,de la World Wide Web). [Accessed: 23-Oct-2019].
- [12] D. P. Moreno, “Variante de las poblaciones de Beas y Trigueros,” 2011.
- [13] Autodesk, “To Define and Assign Property Sets,” *Autodesk*, 2018. [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/support/civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/Civil3D-UserGuide/files/GUID-FF05147B-A17B-4078-8B62-C40AE50255A9-htm.html>.

[14] “Autodesk Subassembly Composer | Civil 3D 2019 | Autodesk Knowledge Network.” [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/Civil3D-SubassemblyComposer/files/GUID-C569F4E7-D548-410E-B7D6-942A927FFD0B-htm.html>. [Accessed: 10-Dec-2019].

ANEJO 1. MANUAL BIM PARA MODELOS 3D CON AUTOCAD CIVIL 3D 2019

A1.1 Guía para Secciones Inteligentes Subassembly Composer

Esta herramienta de AutoDesk para AutoCAD Civil 3D permite crear secciones inteligentes personalizadas. Este programa viene incluido en el paquete de instalación de AutoCAD civil 3D.

Se pueden crear subensamblajes complejos mediante una interfaz de usuario muy avanzada, y a la vez, fácil de usar:

- Defina el comportamiento de un subensamblaje mediante un diagrama de flujo fácil de comprender.
- Arrastre y suelte condiciones y elementos de geometría de Tool Box por categorías hasta el diagrama de flujo.
- Obtenga una vista preliminar de la geometría del subensamblaje; simule el comportamiento del subensamblaje aplicando diferentes condiciones y valores de objetivo.
- Busque y edite las propiedades de un elemento de subensamblaje mediante la vista preliminar sincronizada con el diagrama de flujo.
- Adjunte documentación de ayuda al subensamblaje.
- Guarde subensamblajes como archivos PKT. Los archivos PKT se pueden importar en AutoCAD Civil 3D, lo que genera automáticamente archivos ATC.

Según [14], el Subassembly Composer (SAC) proporciona una interfaz para componer y modificar subensamblajes complejos. Estos subensamblajes llegan a ser inteligentes, porque el programa tiene las herramientas necesarias para crear subensamblajes con capacidad de tomar decisiones en función de:

- La cota de la superficie del terreno, la sección será en desmonte, terraplén o media ladera.
- Pendientes, anchura de carriles, etc.

Otra de las características del SAC es que permite crear secciones partiendo de cero completamente personalizables. No obstante, al ser un programa que se ha creado hace pocos años presenta ciertas limitaciones, que veremos más adelante.

La interfaz del SAC es sencilla y consta de cinco paneles:

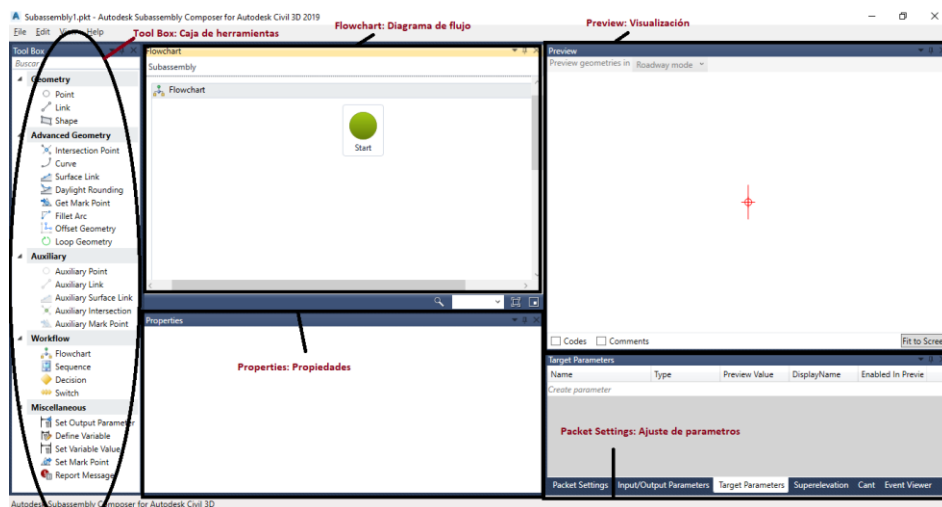


Figura 65. Interfaz del Subassembly Composer. (Fuente: Elaboración propia)

- Tool Box: Barra de herramientas.
- Flowchart: Diagrama de flujo.
- Prosperitos: Propiedades.
- Preview: Visualización.
- Packet Settings: Ajuste de parámetros.
- Como en todo programa, también se encuentra la barra de menú, en la parte superior de la pantalla.

A1.1.1 Tool Box (Barra de herramientas)

Este panel aparece de forma vertical en la parte izquierda de la pantalla. En él se encuentran los distintos elementos para diseñar el subensamblaje.

Para utilizar las opciones que se encuentran en este panel, hay que arrastrar y soltar el elemento en el diagrama de flujo.

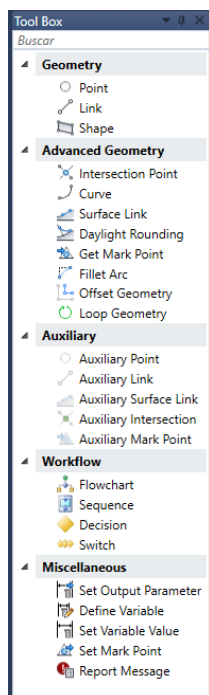


Figura 66. Tool Box del SAC (Fuente: Elaboración propia)

En él podemos distinguir cinco espacios diferentes:

1. Geometry: Herramientas para crear geometría básica de subensamblaje.
 - Point: puntos para especificar los nodos de geometría del subensamblaje. Existen diferentes tipos de puntos:
 - Angle and delta X: añade un punto situado en un ángulo y desfase determinados en otro punto.
 - Angle and delta Y: añade un punto situado en un ángulo y elevación determinados en otro punto.
 - Angle and distance: añade un punto situado en un ángulo y una distancia determinados en otro punto.
 - Delta X and delta Y: añade un punto situado en un desfase y una elevación determinados en otro punto.
 - Delta X on Surface: Añade a un punto que se encuentra en una superficie de objetivo especificada en otro punto.
 - Interpolate Point: Añade un punto que se encuentra en una distancia interpolada entre un punto inicial y un punto de destino.
 - Slope and delta X: Añade un punto situado en un talud y desfase determinados en otro punto.
 - Slope and delta Y: Añade un punto situado en un talud y elevación determinados en otro punto.
 - Slope to Surface: Añade un punto que se encuentra en una superficie de objetivo de un talud especificado en otro punto.

- Link: vínculos para conectar dos puntos secuenciales o no secuenciales con una línea recta. Para añadir una línea entre dos puntos, hay que especificar que punto comienza el vínculo y que punto lo termina.
- Shape: formas para crear un área de sección transversal que defina el material que se utiliza en un área determinada de un subensamblaje. Para definir un shape hay que especificar los vínculos que encierran la forma.

2. Advanced Geometry:

- Intersection Point: localiza el vértice implícita o explícita de dos elementos de geometría. Hay tres tipos:
 - Intersection two links: especificar las dos líneas a partir de las cuales se quiere obtener el punto intersección.
 - Intersection link and point slope: especificar el vínculo de intersección y el vértice, según el valor indicado en Slope. Con el punto y la pendiente, se crea una línea imaginaria que corta a la otra línea.
 - Intersection two point slopes: hay que especificar dos puntos y a cada uno su correspondiente slope (pendiente). Se crean dos líneas imaginarias desde cada punto con su correspondiente pendiente, que se interceptan en un punto.
- Curve: curva entre dos puntos. Existen tres tipos:
 - Arc: General. Curva entre dos puntos.
 - Arc: curva a partir de tres puntos.
 - Parábola.
- Surface Link: vínculo en una superficie objetivo entre desfases especificados. Esta opción de geometría avanzada consiste en un link que se adapta a la forma de la superficie. Para su uso, hay que especificar entre que valores de desfase (X) se encuentra u offset (parámetro que utilizamos para referirnos a un eje), y luego definir la opción Depth. Opción Depth (profundidad): especifica si el link o vínculo se coloca debajo o encima de la superficie de objetivo.
 - Si el valor es positivo, el vínculo se dibuja por debajo de la superficie de objetivo.
 - Si el valor es negativo, el vínculo se dibuja por encima de la superficie de objetivo.
- Daylight Rounding: consiste en añadir un vínculo de parábola o arco entre un vínculo de intersección y una superficie de objetivo. Hay dos tipos de curvas:
 - Arco.
 - Parabólica.
- Get Mark Point: Consiste en añadir un punto de marca en un subensamblaje o cerca de él. Es decir, se trata de un punto que tendrá una posición relativa en función a otro punto.
- Fillet Arc: Es parecida a la opción que existe en AutoCAD, que hace un arco entre dos líneas, es decir, empalma y redondea los bordes de un objeto.
- Offset Geometry: Realiza un desfase positivo o negativo a formas abiertas o cerradas. En este caso, es parecido a la opción desfase de AutoCAD.
- Loop Geometry: Esta opción de geometría avanzada repite determinados vínculos hasta que alcancen un determinado objetivo de superficie o hasta que se repitan un número de veces especificado.

3. Auxiliary: este panel de opciones contiene elementos de geometría que sirven para crear otros elementos. Estos elementos no se incluyen en la geometría de subensamblaje final. Se utilizan como apoyo para generar el elemento siguiente o para establecer objetivos.
 - Auxiliary Point: Punto que se utiliza para crear otros elementos de geometría. Este tipo de puntos, tiene las mismas propiedades y los mismos puntos de geometría que un punto estándar.
 - Auxiliary Link: conecta dos puntos secuenciales o no secuenciales con una línea recta. Un vínculo auxiliar como se dijo anteriormente no pertenece a la geometría de un subensamblaje; no obstante, a partir de él se puede crear otra geometría.
 - Auxiliary Surface Link: Esta herramienta añade un vínculo en una superficie objetivo entre desfases especificados. A partir de él se puede crear otras geometrías.
 - Auxiliary Intersection: Localiza el vértice implícita o explícita de dos elementos de geometría. Tiene las mismas propiedades que la herramienta Intersection pero en este caso no forma parte de la geometría, no obstante, a partir de ella puede crearse otra geometría.
 - Auxiliary Mark Point: Añade un punto de marca auxiliar en un subensamblaje o cerca de él. Es similar a la herramienta Get Mark Point pero de forma auxiliar.
4. Workflow: este panel de opciones contiene herramientas que nos sirven a organizar los elementos de geometría y añadir ramificaciones para comportamiento condicional. Es un panel muy importante, ya que nos permitirá organizar el diagrama de flujo e incorporar decisiones al flujo. Contiene las siguientes herramientas:
 - Flowchart: Podemos dividir un diagrama de flujo en varios diagramas de flujo con esta herramienta. Con ello conseguimos organizar geometrías relacionadas y compleja en un solo diagrama de flujo que esté anidado en otros diagramas de flujo.
 - Sequence: Otra herramienta que nos permite organizar los elementos de una geometría que estén relacionados como subconjunto de un diagrama de flujo.
 - Decision: Con esta herramienta podemos definir dos opciones de geometría cuya aplicación dependa de una condición especificada. Las decisiones pueden emplear condiciones del tipo verdadero/falso, sí/no, desmonte/terraplén.
Una decisión permite especificar una condición, y después, definir una ramificación True o False en el diagrama de flujo:
 - Si se cumple la condición especificada, se dibuja la geometría de la ramificación True.
 - Se no se cumple la condición especificada, se dibuja la geometría de la ramificación False.

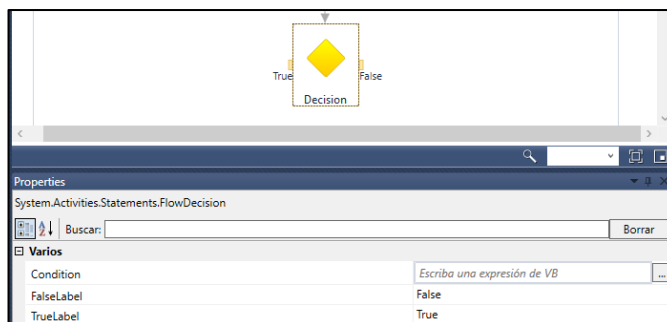


Figura 67. Elemento decisión y sus propiedades (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)

- Switch: Parecida a la herramienta anterior, pero en este caso se pueden especificar hasta 11 opciones de geometría cuya aplicación depende del resultado de una expresión especificada.

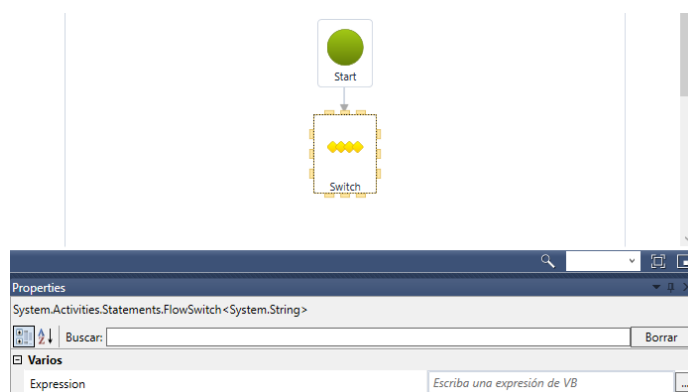


Figura 68. Elemento Switch y sus propiedades (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)

Operadores lógicos:

Función	Ejemplo	Descripción
< >	P1.Y>P2.Y P1.Y<P2.Y	Devuelve True si P1.Y es mayor/menor que P2.Y
<= >=	P1.Y>=P2.Y P1.Y<=P2.Y	Devuelve True si P1.Y es mayor/menor o igual que P2.Y
= <>	P1.Y=P2.Y	Devuelve True si P1.Y es igual a P2.Y
AND	P1.Y>P2.Y)AND(P2.X>P3.X)	Devuelve true si se cumplen las condiciones entre paréntesis
OR	(P1.Y>P2.Y)OR(P2.X>P3.X)	Devuelve True si se cumple una de las condiciones entre paréntesis
XOR	(P1.Y>P2.Y)XOR(P2.X>P3.X)	Devuelve True si se cumple una de las condiciones entre paréntesis y la otra no se cumple.

Figura 69. Funciones lógicas SAC (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)

5. Miscellaneous: Estas herramientas se utilizan para definir y establecer variables, informar de errores en el Visor de Sucesos de Autodesk Subassembly Composer y divulgar información de subensamblaje para que puedan aprovechar otros subensamblajes.

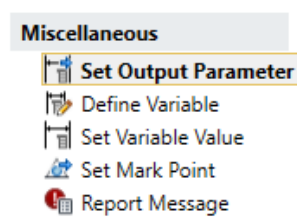


Figura 70. Miscellaneous (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)

- Set Output Parameter: Difunde un valor al que otro subensamblaje pueda hacer referencia como parámetro de entrada.
- Define Variable: nos permite definir un valor o un cálculo para un parámetro; a continuación, se puede utilizar la variable en los cálculos siguientes.
- Set Variable Value: Asigna un valor a una variable previamente definida.
- Set Mark Point: especifica un punto al que otros subensamblajes puedan hacer referencia o vincularse.
- Report Message: creamos un mensaje de error en el Visor de sucesos de Autodesk Civil 3D en determinadas circunstancias.

A1.1.2 Flowchart: Diagrama de flujo

El Flowchart es donde se plasma el diagrama de flujo, por lo que es la zona donde se va a trabajar. Mediante el diagrama de flujo organizamos los elementos que definen la geometría del subensamblaje. Es importante organizar de manera ordenada los elementos para el posterior entendimiento del diagrama, y con ello conseguimos una visión clara todo el diagrama de flujo. Para ello utilizamos las herramientas del Workflow.

Para añadir elementos al Flowchart, arrastre y suelte los elementos de geometría de Tool Box a Flowchart.

A1.1.3 Grupo Properties

En este grupo se especifican las propiedades que definen cada elemento de geometría.

A1.1.4 Grupo Preview

El grupo Preview nos permite ver una representación gráfica en pantalla de la geometría de subensamblaje del modo en que se ha compuesto.

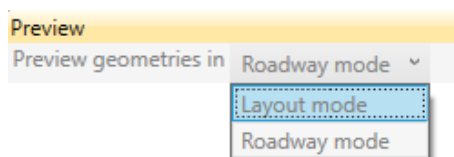


Figura 71. Grupo Preview (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)

Tiene dos modos de vista preliminar:

- Roadway Mode: se utiliza en la generación de obras lineales. Roadway Mode muestra una vista preliminar de la geometría que se dibuja mediante los parámetros de objetivo que se definen para el subensamblaje. Es el modo de vista que se utiliza por defecto.
- Layout Mode: se usa en la composición de ensamblajes. Layout Mode oculta los parámetros de objetivo; la geometría de subensamblaje se dibuja aplicando los valores que los parámetros de objetivo suelen anular.

A1.1.5 Grupo Settings and Parameters

Este grupo se utiliza para definir los parámetros que afectan al modo de visualización del subensamblaje en el modo Preview, así como para definir los parámetros que deben especificarse si el subensamblaje se inserta en un modo de obra lineal.

Dispone de varias fichas, que son las siguientes:

1. Ficha Packet Settings: contiene la información para definir el subensamblaje como su nombre, descripción, archivo de ayuda y una imagen.
2. Ficha Input/Output Parameters: en esta ficha se definen los parámetros que se pueden especificar cuando el subensamblaje se utiliza en un modelo de obra lineal. Si una propiedad se define como parámetro de entrada, se puede aceptar el valor por defecto o especificar un valor personalizado que sea adecuado para el diseño.
3. Ficha Target Parameters: Define los parámetros de elevación, desfase y objetivo de superficie del subensamblaje.
4. Ficha Superelevation: Define el modo en que los taludes se representan en el grupo Preview. Se puede obtener una vista preliminar de peralte en modo de carretera pero no en modo diseño.
5. Ficha Cant: Puede definir el modo en el que el efecto de peralte de ferrocarriles aparecerá en el grupo Preview para un subensamblaje de carriles estableciendo los parámetros de peralte de ferrocarriles en la ficha Cant. Se puede obtener una vista preliminar de peralte de ferrocarriles en el modo de carretera y en el modo de diseño.

6. Ficha Event Viewer: En esta ficha se pueden ver los mensajes que describen problemas relacionados con la geometría de subensamblaje.

A1.1.6 Ensamblaje

Creación de un subensamblaje:

La elaboración de un subensamblaje mediante el módulo Subassembly Composer sigue los siguientes pasos:

1. Definir las opciones generales (Packet Settings).
2. Definir los parámetros de entrada y salida (Input Parameters).
3. Definir los parámetros objetivo (Target Parameters).
4. Construcción del flujo de trabajo que define el subensamblaje.
5. Almacenamiento del subensamblaje y su importación en AutoCAD Civil 3D.

1. Definir las opciones generales (Packet Settings)

- Nombre del Subensamblaje (Subassembly Name): especifica el nombre de subensamblaje que se visualizará en la paleta de herramientas de Autodesk Civil 3D. Es la única opción obligatoria de las cuatro.
- Descripción (Description): Descripción del subensamblaje, que en caso de incluirse aparecerá en la paleta de herramientas en un cuadro flotante.
- Archivo de Ayuda (Help File): Archivo de ayuda que describe los parámetros de entrada y salida, los parámetros objetivos, así como los códigos que se asignan al subensamblaje. Debe estar en un formato HTM/HTML.
- Imagen (Image): Imagen del subensamblaje que aparecerá en la paleta de herramientas de Autodesk Civil 3D. es recomendable que se trate de una imagen de 224x224 px.

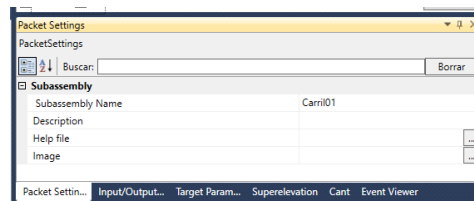


Figura 72. Opciones Generales (Packet Settings). (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)

Es importante especificar el nombre del subensamblaje con el mismo nombre con el que será guardado como archivo. Esto nos sirve para llevar un trabajo mas ordenado.

2. Definir los parámetros de entrada y salida (Input Parameters)

En esta pestaña se pueden especificar los parámetros del subensamblaje junto a sus valores por defecto. Se trata de los parámetros que aparecen en la librería de los subensamblajes que vienen instalados por defecto en AutoCAD Civil 3D.

- Nombre (Name): Nombre que defina el parámetro, este nombre no puede empezar por un número ni contener espacios ni caracteres especiales. Los nombres asignados a los parámetros de peralte se generan automáticamente por defecto.
- Tipo (Type): Existen 11 tipos de parámetros:
 - Integer: número entero.
 - Double: número decimal.
 - String: texto.
 - Grade: pendiente como porcentaje.
 - Slope: ratio entre distancia horizontal y vertical.
 - Si/No: sirve para incluir variables.
 - Side: especifica para que lado se crea el subensamblaje, por defecto es el lado derecho.
 - Superelevation: este parámetro permite introducir los peraltes en distintas posiciones del subensamblaje.
 - Superelevation Axis of Rotation: permite introducir el eje de rotación del peralte.
 - Slope Direction: orientación del talud.
 - Potencial Pivot: punto de giro potencial.

- Dirección (Direction): En esta opción podemos especificar si el parámetro es de entrada o de salida.
- Valor por Defecto (Default Value): Valor que tendrá el parámetro cuando se inserta el subensamblaje en un ensamblaje. El usuario puede cambiar este valor en la paleta de propiedades de Autodesk Civil 3D, en el cuadro de diálogo Parámetros de subensamblaje o el cuadro de diálogo de Propiedades de subensamblaje.
- Nombre por Pantalla (Display Name): Nombre que aparecerá en la paleta de propiedades de Autodesk Civil 3D.
- Descripción (Description): Descripción del parámetro que aparecerá en la paleta de propiedades de Autodesk Civil 3D.

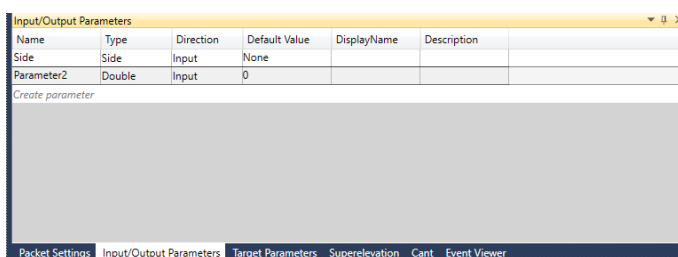


Figura 73. Definición de parámetros de entrada y salida (Input/Output Parameters). (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)

En esta ficha creamos los parámetros de entrada que vamos a necesitar para el subensamblaje, como, por ejemplo:

- Espesores de capa: Especificar la profundidad de cada capa. Es importante tener en cuenta que el valor que le asignemos a cada espesor no tiene unidad en el programa Subassembly Composer, si no que tendrá la unidad del C3D.
- Ancho de carriles.
- Bombeos transversales.
- Pendientes y taludes.

Estos parámetros se le podrá cambiar los valores en todo momento, e incluso cuando importemos el subensamblaje a C3D. Por lo tanto, podemos crear un subensamblaje general, y en el programa C3D le asignamos los valores a cada parámetro.

3. Definir los parámetros objetivo (Target Parameters)

En este apartado definimos los parámetros de elevación, desfase y objetivo de superficie del subensamblaje.

Un parámetro objetivo importante a especificar en este apartado, es la superficie objetivo. Creamos la referencia del terreno: Create parameter. Hay que nombrar esta referencia de superficie en el programa Subassembly Composer con el mismo nombre que tiene la superficie en el archivo de AutoCAD.

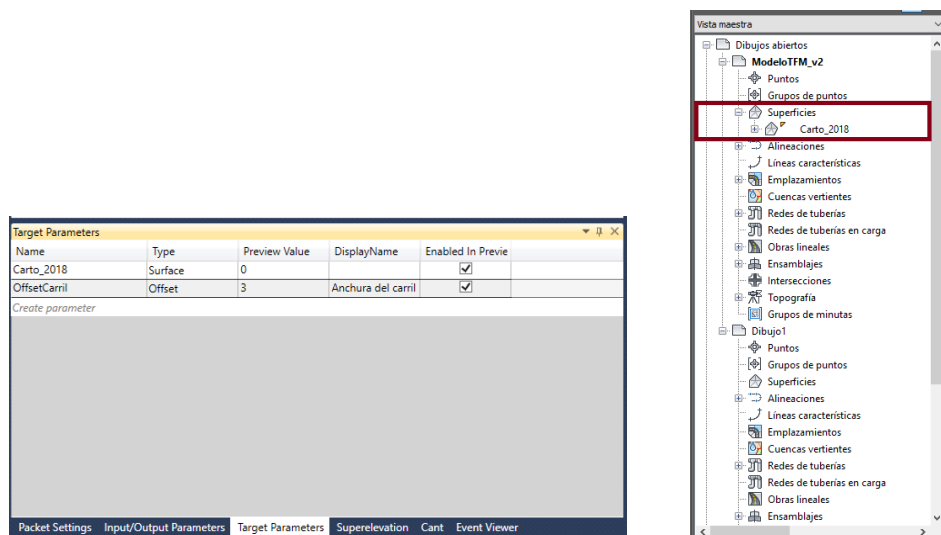


Figura 74. Parámetro objetivo de superficie (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)

En la imagen de la derecha, vemos el panel de herramientas de C3D, y se señala el nombre de la superficie del terreno: Carto_2018. Este será el nombre que asignamos al parámetro de superficie objetivo en el SC (Subassembly Composer).

También podemos crear parámetros tipo Offset, que puede ser por ejemplo la línea exterior del carril, la cual en recta no cambia, pero en curvas sí cambia al producirse un ensanchamiento. Otro tipo de parámetro es el de elevación, que nos puede servir para crear el bombeo de la carretera.

4. Construcción del flujo de trabajo que define el subensamblaje

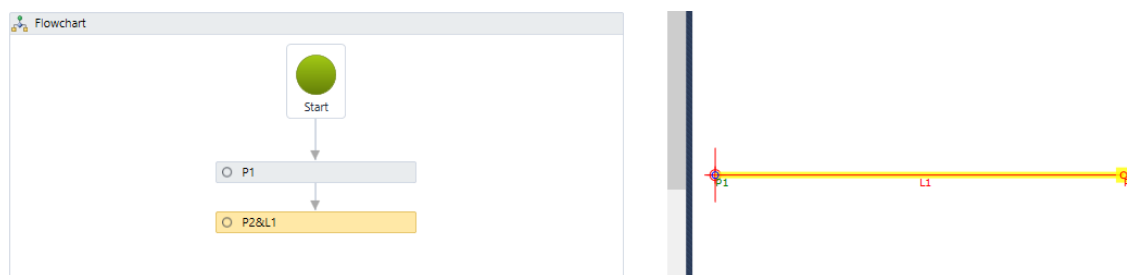


Figura 75. Inicio de construcción del flujo de un ensamblaje (Fuente: Autodesk Subassembly Composer)

Para comenzar a definir el subensamblaje, arrastramos el primer elemento del Toolbox y lo soltamos en el Flowchart. El flujo de trabajo es en primer lugar definimos los puntos de la geometría, luego esos puntos se unen mediante vínculos, y por último, generamos los Shapes de las geometrías cerradas.

Es importante llevar un trabajo ordenado en el Flowchart, ya que para el diseño de un subensamblaje hacen falta muchos elementos. Por ello, debemos utilizar herramientas como Flowchart o Sequence, que nos permiten que el diagrama de flujo general quede resumido.

A medida que vamos añadiendo elementos al Flowchart, vamos asignándoles las propiedades adecuadas a cada elemento y es importante asignarle los códigos adecuados. Ya que estos códigos serán bastante útiles cuando importemos el subensamblaje al C3D. Más adelante, se presenta un apartado para la adición de códigos a los elementos.

5. Almacenamiento del subensamblaje y su importación en AutoCAD Civil 3D

Una vez creado un subensamblaje, hay que importarlo a Autodesk Civil 3D. el flujo de trabajo es el siguiente:

1. Comprobar la geometría de elementos. Comprobamos los parámetros de los elementos en el grupo Properties.
2. Vista preliminar de la geometría. Comprobamos la geometría en el grupo Preview y activamos la opción de Visualizar Códigos. Podemos ver los códigos y comentarios que se asignen en la paleta Properties.
3. Confirmar la configuración del paquete. Examinar el grupo Settings and Parameters para asegurarse de que el paquete tenga una configuración y unos parámetros correctos.

4. Guardar el proyecto.

5. Importar el subensamblaje a Autodesk Civil 3D:

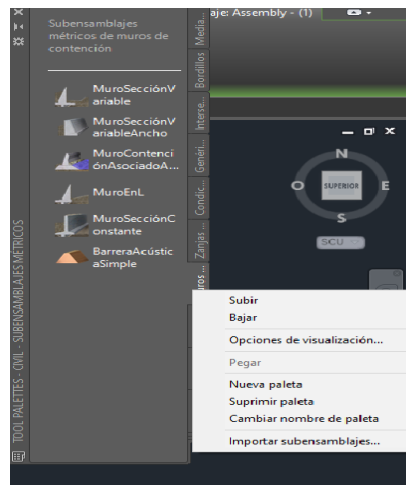


Figura 76. Importar Subensamblaje C3D (Fuente: Propia)

En la paleta de herramientas de subensamblaje, pinchando con el botón derecho en los márgenes de esta paleta, nos aparece la opción de importar subensamblajes.

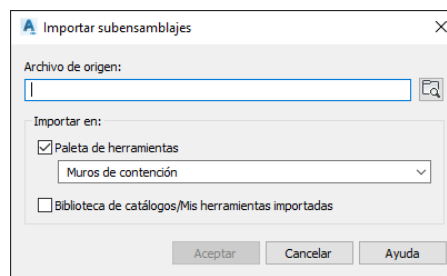


Figura 77. Importar Subensamblajes (Fuente: Propia)

Pinchamos en el icono carpeta con lupa, y buscamos el archivo de origen.

En la opción de *Importar en:* que aparece en el cuadro anterior, elegimos la paleta en la que queremos que se guarde el subensamblaje.

A1.1.7 Códigos

Utilización de códigos y de estilos de conjunto de códigos:

Los códigos se pueden asociar a componentes de punto, vínculo y forma de un subensamblaje.

Los códigos permiten aplicar normas simples o complejas que regulen el comportamiento del desfase y elevación de subensamblajes. Puede elegir añadir códigos en ciertos componentes de subensamblajes para implementar elementos de presentación y anotación en un diseño de obra lineal.

Un subensamblaje normal consta de los componentes que aparecen a continuación, que pueden tener códigos asociados:

- Puntos. Define la estructura subensamblaje básica.
- Vínculo. Conecta puntos para formar superficies de estructura planas de una obra lineal.
- Forma. Está definida por vínculos y define una región cerrada que representa los materiales que se utilizan en un modelo de obra lineal.

Para una serie de componentes de punto, vínculo y forma, es posible definir una serie de características de visualización y asignarles un estilo de conjunto de códigos. Así pues, es posible asignar un estilo de conjunto de códigos a un subensamblaje, un ensamblaje, una obra lineal o una vista en sección.

A1.1.7.1 Estructura del pavimento de secciones pavimentadas

Los subensamblajes de modelado de obra lineal que modelan componentes pavimentados de una carretera, permiten la definición de varias capas de material.

Estas capas de material se definen mediante conjuntos de vínculos. La estructura típica es la siguiente:

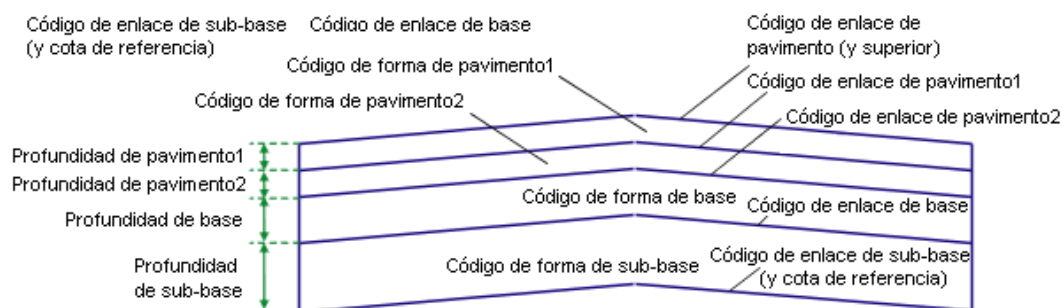


Figura 78. Estructura típica subensamblaje de secciones pavimentadas. (Fuente: Autodesk)

Los códigos de vínculo estándar en orden descendente son Pave, Pave1, Pave2, Base y Subbase. El código Top también se asigna a vínculos de rasante, de modo que coincidan con los vínculos Pavimento de secciones pavimentadas. El código Datum también se asigna a la parte inferior de la sub-base. Los códigos de forma de las áreas de material en orden descendente son Pave1, pave2, Base y Subbase.

Los subensamblajes que crean secciones pavimentadas poseen la profundidad y el grosor de cada capa como parámetros de entrada que puede definir el usuario. Los subensamblajes que crean secciones pavimentadas cierran las áreas de capa para crear una forma cerrada, incluso si, en realidad, dichas capas permanecen en el componente contiguo. Las capas se pueden omitir si se establece la profundidad correspondiente en cero. Esta acción contrae la capa, por lo que la forma también tendrá un área cero.

A1.1.7.2 Descripción de códigos de punto, vínculo y forma

En el diseño de subensamblajes personalizados hay que tener en cuenta no solo la forma geométrica del modelo de la obra lineal que creará el subensamblaje en última instancia, sino también como se utiliza el modelo en las operaciones de diseño posteriores al modelado. Estas operaciones incluyen:

- Diseño de modelado de superficie.
- Combinación del modelo de obra lineal con modelos de explanación.
- Análisis del volumen de material.
- Diseño de visualización y modelizado.

- Producción de planos.
- Modelo de construcción por etapas.

Casi todas estas operaciones dependen de los códigos que se asignan a los puntos, vínculos y formas del modelo de la obra lineal. Para crear modelos que se integren en todas las operaciones mencionadas, el esquema de códigos se debe diseñar detenidamente antes de crear el primer subensamblaje. Es recomendable realizar un esquema de las diferentes situaciones y tipos de carretera que se prevén.

A1.1.7.3 Códigos de punto

Operaciones destacables de los códigos de puntos son:

- Modelado de obra lineal

La obra lineal se representa gráficamente mediante secciones transversales de carretera en P.K. predeterminados. Entonces, los puntos que tienen el mismo código y se encuentran en la misma región de la sección se conectan automáticamente con líneas longitudinales.

- Los puntos de intersección de desmonte o terraplén son un buen ejemplo de donde se necesitan dos códigos para el mismo punto. Ya que, si los puntos de intersección tanto de los vínculos de desmonte como de terraplén poseen un código “Daylight”, será sencillo representar y extraer una única figura que defina el límite de construcción en cada lado. Si los mismos puntos presentan el código “Daylight_Cut” o “Daylight_Fill”, según las circunstancias, sería más sencillo anotar las líneas de intersección de desmonte y terraplén de forma diferente.

A1.1.7.4 Códigos de vínculo

- Diseño de modelado de la superficie

Las superficies que se extraen de la obra lineal se crean mediante los vínculos con un código particular.

- Análisis del volumen de material y explanación

Las diferentes capas del modelo de obra lineal se pueden separar y utilizar para cálculos de volumen mediante tablas que definan materiales en términos en que los códigos de vínculo aparecen encima, debajo, a izquierda y derecha de las capas de materiales.

- Visualización y modelizado

Resulta útil distinguir entre materiales de superficie como pavimento, grava, hierba y hormigón.

Un esquema típico de códigos de líneas para un subensamblaje es el siguiente:

- Top: Asignado a todos los vínculos de la rasante, pavimentados o sin pavimentar. De esta manera, se puede crear un modelo de la superficie de la rasante, que se usa en el análisis de drenaje y la visualización.
- Pave: segundo código asignado a los vínculos pavimentados en la rasante. Así, podemos modelizar los vínculos de este tipo con un color o textura particular.
- Datum: asignado a los vínculos de rasante sin pavimentar y a todos los vínculos de la parte inferior o lateral de las capas sub-base. De esta manera, podemos modelar la superficie que se inclina con equipo de movimiento de tierras, así como el análisis de volúmenes de desmonte y terraplén.
- Subbase: asignado a todos los vínculos de la parte inferior o lateral de las capas sub-base. Este tipo de códigos se utilizan para definir la parte inferior de las áreas de material de base granular para el análisis de volumen de material.

A1.1.7.5 Códigos de forma

El uso principal de los códigos de forma es la definición de patrones de sombreado para materiales diferentes y la extracción de áreas para tabulación de volúmenes de material. Los códigos deben reflejar cómo desea identificar los materiales en los informes.

A1.1.7.6 Códigos de punto estándar

N.º	Código	Descripción
1	Crown	Punto de bombeo entre carriles de circulación de una rasante.
4	Crown_Base	Punto de bombeo entre carriles de circulación en la capa base.
5	Crown_Sub	Punto de bombeo entre carriles de circulación en la capa sub-base.
6	ETW	Borde de la calzada; bordes interiores o exteriores de los carriles de circulación de la rasante.
7	ETW_Pave1	Borde de la calzada en la capa Pavimento1.
8	ETW_Pave2	Borde de la calzada en la capa Pavimento2.
9	ETW_Base	Borde de la calzada en la capa base.
10	ETW_Sub	Borde de la calzada en la capa sub-base.
12	Lane_Pave1	Punto de cambio de carril en Pavimento1.
13	Lane_Pave2	Punto de cambio de carril en Pavimento2.
14	Lane_Base	Punto de cambio de carril en Base.
15	Lane_Sub	Punto de cambio de carril en Sub-base.
16	EPS	Borde de arcén pavimentado; borde exterior de las partes pavimentadas del arcén en la rasante.
17	EPS_Pave1	Borde del arcén pavimentado en la capa Pavimento1.
18	EPS_Pave2	Borde del arcén pavimentado en la capa Pavimento2.
19	EPS_Base	Borde del arcén pavimentado en la capa base.
20	EPS_Sub	Borde de arcén pavimentado; borde exterior de las porciones pavimentadas del arcén en la capa sub-base.
21	EPS_Base_In	Borde interior del arcén pavimentado en la capa base.
22	EPS_Sub_In	Borde interior del arcén pavimentado en la capa sub-base.
23	ES_Unpaved	Borde del arcén de grava; borde exterior de las partes sin pavimentar del arcén en la rasante.
24	Daylight_Sub	Punto de intercepción de la capa base; punto donde la superficie sub-base se extiende y se cruza con la rasante.
25	Daylight	Punto de intersección para talud en desmonte o terraplén.
26	Daylight_Fill	Punto de intersección para talud en terraplén.
27	Daylight_Cut	Punto de intersección para talud en desmonte.
29	Ditch_Out	Borde exterior de la cuneta.
30	Bench_In	Borde interior de la bancada.
31	Bench_Out	Borde exterior de la bancada.
32	Flowline_Ditch	Línea de caudal de una cuneta en V.
33	LMedDitch	Borde izquierdo de la cuneta de la mediana.
38	Bottom_Curb	Parte inferior de un bordillo en un bordillo sin caz.
39	Back_Curb	Parte posterior del bordillo.
40	Sidewalk_In	Borde interior de la acera.

Tabla 3. Códigos estándar de puntos. (Fuente: Autodesk)

A1.1.7.7 Códigos de vínculos estándar

N.º	Código	Descripción
1	Top	Rastrea todos los vínculos de una rasante, incluidos: Vínculos de rasante sin pavimentar (zona libre, taludes en terraplén y desmonte) Superficie pavimentada superior en secciones pavimentadas. Caz, cara del bordillo y parte superior del bordillo. Parte superior de la acera. En la mayoría de carreteras, los vínculos Top siguen la superficie de la rasante desde el punto de captación izquierdo hasta el derecho. Estos vínculos crearán la superficie de la rasante.
2	Pave	Cualquier superficie de rasante de una sección pavimentada.
3	Base	Todos los vínculos de la superficie de la base en secciones pavimentadas.
4	SubBase	Todos los vínculos de la superficie de la sub-base en secciones pavimentadas.
5	Datum	Todos los vínculos de la rasante de secciones sin pavimentar y los vínculos de sub-base en secciones pavimentadas. En la mayoría de carreteras, los vínculos Datum siguen la rasante y la sub-base sin pavimentar desde el punto de unión izquierdo hasta el derecho. Estos vínculos crearán la superficie utilizada para calcular los volúmenes en desmonte y terraplén.
6	Gravel	Superficies de rasante sobre arcenes de grava con sub-base.
7	Curb	Todos los vínculos que componen un bordillo o un bordillo y caz.
8	Sidewalk	Todos los vínculos que componen una acera.

Tabla 4. Códigos estándar de vínculos. (Fuente: Autodesk)

A1.1.7.8 Códigos de forma estándar

N.º	Código	Descripción
1	Pave1	Forma cerrada entre la rasante y la primera superficie de pavimento en secciones pavimentadas.
2	Pave2	Forma cerrada entre la primera y la segunda superficie de pavimento en secciones pavimentadas.
3	Base	Forma cerrada entre la segunda superficie de pavimento y la superficie de la base en secciones pavimentadas.
4	SubBase	Forma cerrada entre las superficies base y sub-base en secciones pavimentadas.
5	Curb	Área cerrada dentro de un bordillo o un bordillo y caz de hormigón.
6	Sidewalk	Área cerrada dentro de una acera de hormigón.

Tabla 5. Códigos estándar de formas. (Fuente: Autodesk)

A1.1.7.9 Editar el estilo de conjunto de códigos de una obra lineal

Para editar un estilo de conjunto de códigos

1. Realice una de las siguientes acciones:
 - En el espacio de herramientas, en la ficha Prospector, expanda la colección Obras lineales y haga clic con el botón derecho del ratón en una obra lineal existente. Haga clic en Propiedades y, a continuación, haga clic en la ficha Códigos.
 - En la cinta de opciones, haga clic en Modificar ➤ Obra lineal. En el grupo Modificar obra lineal, haga clic en la flecha hacia abajo, seleccione Editar estilos de conjunto de códigos y, por último, seleccione una obra lineal.
 - En el dibujo, haga clic con el botón derecho en una obra lineal, y seleccione Propiedades. En el cuadro de diálogo Propiedades de obra lineal, haga clic en la ficha Códigos.
2. Haga clic en la flecha desplegable situada junto al estilo de conjunto de códigos y seleccione un nuevo estilo de conjunto de códigos.
3. Haga clic en Aplicar.

A1.2 Minutas

Las minutas se crean basándose en una alineación del dibujo y en una vista en planta designada o una ventana gráfica de visualización del perfil de una plantilla. Si se crean planos de visualización del perfil además de estos datos de vista en planta, es necesario un perfil del dibujo.

Las minutas creadas obtienen su tamaño y escala de la ventana gráfica utilizada como plantilla. De la misma forma, la presentación del plano deriva de la plantilla referenciada. Estas plantillas deben tener especificada la propiedad Tipo de ventana, según el tipo de datos que se pretende mostrar. Aunque las minutas se puedan mover y girar, no es posible cambiar su tamaño, ya que este tamaño se basa en el tamaño de la ventana gráfica a la que se hace referencia en la plantilla asociada.

AutoCAD Civil 3D tiene plantillas de referencia para su uso en las minutas. Si queremos añadir una plantilla propia del proyecto, hay que seguir los siguientes pasos:

A1.2.1 Plantilla de referencia.

En nuestro trabajo, la plantilla de referencia que aportaba AutoCAD Civil 3D no nos servía, ya que los tamaños de la plantilla no eran los deseados. Además, se pretendía colocar el mismo cajetín que en el resto de los planos.

El tamaño de papel utilizado es A3 y una escala 1:1000. Para ello, hay que seguir los siguientes pasos:

Ir a abrir en AutoCAD Civil 3D un archivo, y seleccionar en el menú desplegable Archivo de tipo: Plantilla de dibujo (*.dwt). Entonces, se abrirá la siguiente pestaña:

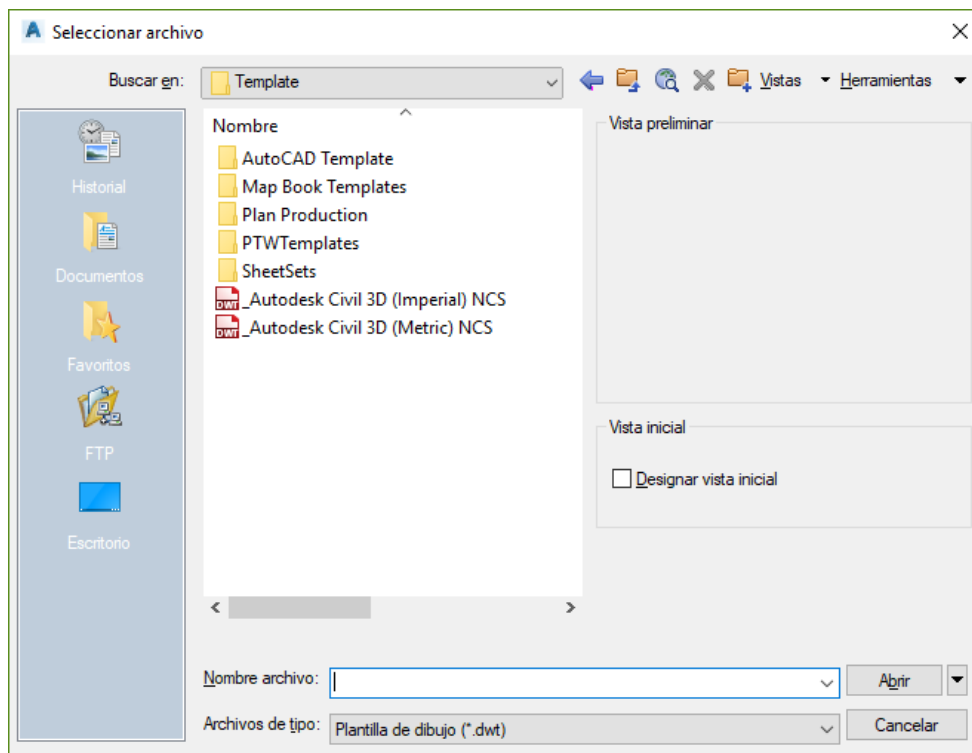


Figura 79. Selección archivo minutas (Fuente: Propia)

Hacer clic sobre la carpeta Plan Production. Dentro de esta carpeta, nos encontramos las siguientes plantillas:

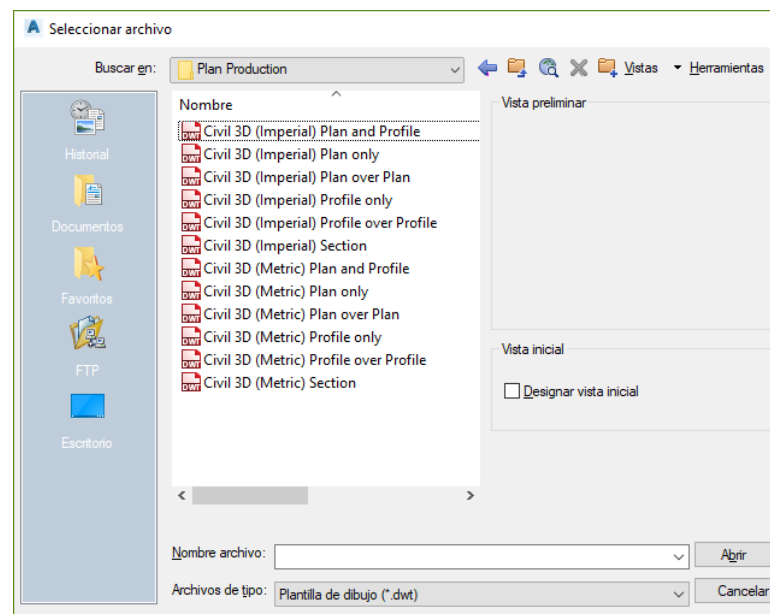


Figura 80. Plantillas minutas (Fuente: Propia)

Existen plantillas tanto en el sistema métrico decimal como en el sistema imperial, y ambos sistemas poseen 6 tipos de plantillas:

- Plan and Profile: Plantilla con dos ventanas gráficas, la ventana superior es la planta y la inferior el perfil de la alineación. Es la que usaremos mas adelante.
- Plan only: Plantilla con solo una ventana gráfica para la planta de la alineación.
- Plan over Plan: Dos ventanas gráficas para plantas de la alineación. Este tipo de plantilla es útil ya que permite imprimir dos plantas de la alineación en un plano, por lo que se reduce el número de planos al final.
- Profile only: Plantilla que sirve para perfil longitudinal de la alineación.
- Profile over profile: Plantilla que posee dos ventanas gráficas para perfil longitudinal.
- Section: Plantilla para las secciones transversales.

Podemos crear una nueva plantilla o editar una de las aportadas por AutoCAD.

A continuación, vamos a explicar cómo crear una nueva plantilla, a la cual podamos añadir una ventana gráfica para la alineación y otra para el perfil.

1. Abrir un nuevo proyecto, y guardarlo como una Plantilla de dibujo (*.dwt) en la carpeta Plan Production. En nuestro caso, utilizamos el nombre del archivo como Civil 3D (Metric) Plan and Perfil (propio).
2. Hacemos clic sobre la presentación 1 y eliminamos la ventana gráfica que aparece por defecto.
3. Hacer clic derecho en Presentación 1 y luego hacer clic sobre Administrador de configurador de página... Aparecerá la siguiente ventana:

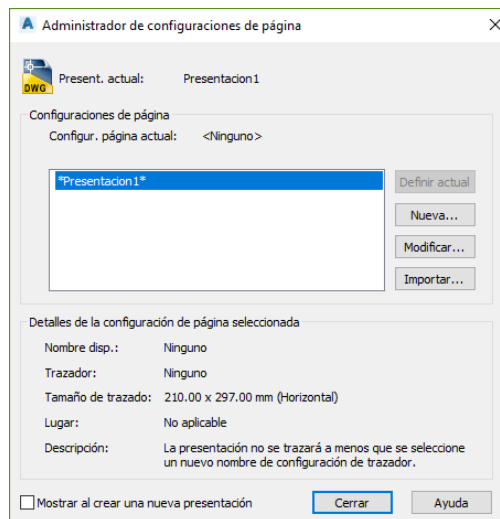


Figura 81. Administración de configuración de página (Fuente: Propia)

4. Hacemos clic sobre Modificar...

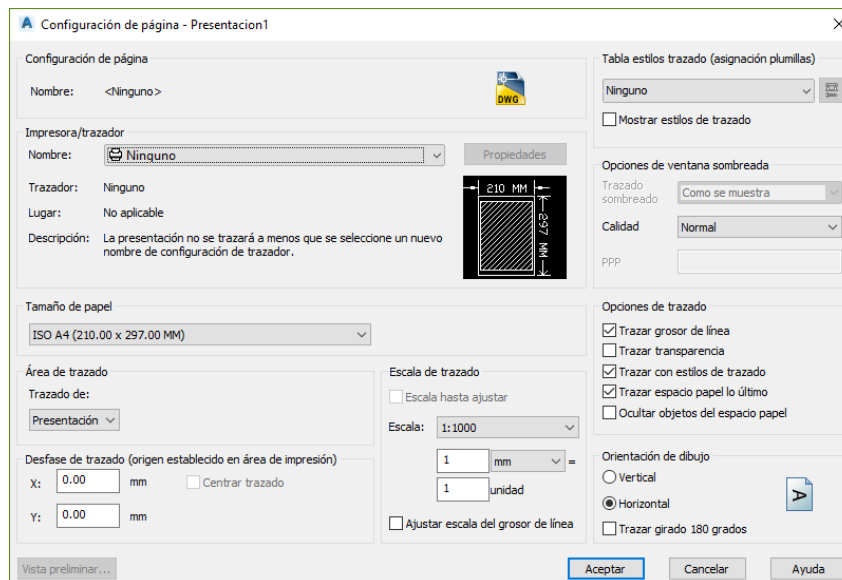


Figura 82. Configuración de presentación (Fuente: Propia)

5. Modificamos las siguientes propiedades:

- Impresora/trazador → Nombre: DWG To PDF.pc3.
- Tamaño de papel → ISO expand A3 (420.00 x 297.00 mm) (aquí elegimos el tamaño de papel que se desee, en nuestro caso, elegimos tamaño A3).
- Área de trazado → Trazado de: Presentación.
- Escala de trazado → Escala: 1:1000 (aquí elegimos la deseada).

6. Insertamos el bloque del cajetín creado anteriormente. Para este ejemplo, ya teníamos creado un cajetín simple, el cual pegamos en la presentación, y que los márgenes se encuentren dentro del área de impresión.

7. Añadimos las ventanas gráficas de presentación:

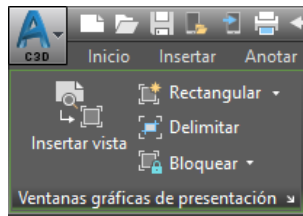
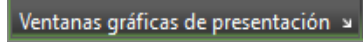


Figura 83. Ventanas gráficas (Fuente: Propia)

Hacemos clic sobre la fecha que aparece a la derecha de Ventanas gráficas de presentación:



Nos aparecerá la siguiente ventana:

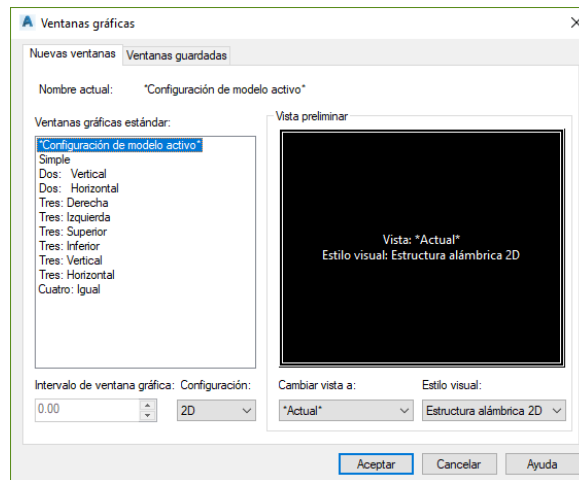


Figura 84. Ventanas gráficas (Fuente: Propia)

En la cual podemos elegir el número de ventanas gráficas que queremos, el intervalo de ventana gráfica, la configuración (2D o 3D) y el estilo visual.

En nuestro caso, elegimos dos ventanas en posición horizontal, en 2D y estilo visual: Estructura alámbrica 2D.

8. Una vez que hacemos clic sobre Aceptar, especificamos las dos esquinas del área de impresión del cajetín utilizado. Nos quedaría de la siguiente forma:

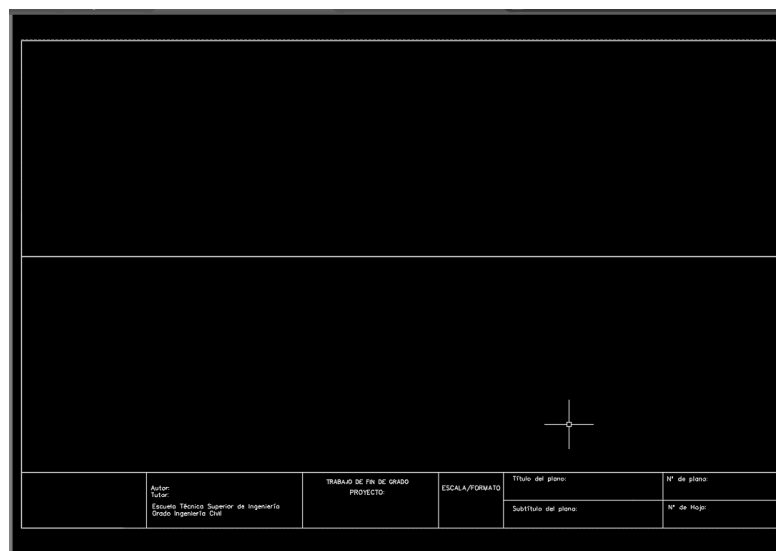
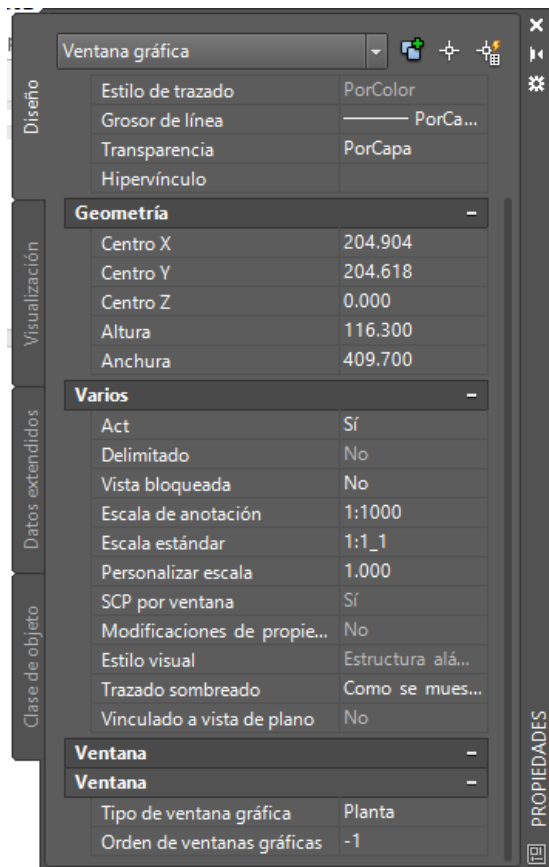


Figura 85. Cajetín de impresión (Fuente: Propia)

9. Para cambiar el tipo de ventana gráfica hacemos clic con el botón derecho sobre el marco de una de las ventanas gráficas y pinchamos en propiedades.



En la parte inferior de las propiedades, vemos que existe una llamada Tipo de ventana gráfica. En ella podemos modificar si queremos que aparezca la planta, el perfil o la sección.

Por ejemplo, podemos especificar en la ventana superior la planta del dibujo y en la inferior la sección o el perfil, según lo que deseemos.

También, podemos cambiar la escala en:

Escala de anotación.

Cuando se ha creado una plantilla, se pueden crear copias de esta en otras presentaciones, pero con diferentes escalas para su uso en un futuro, así como cambiando el formato.

Figura 86. Propiedades de ventana gráfica (Fuente: Propia)

Una vez que ya hemos definido la plantilla que se va a utilizar en la maquetación de los planos, procedemos a crear las minutas. Las minutas que se crean representan áreas rectangulares de la alineación que se mostrarán en los planos de planta y perfil o solo de planta.


Antes de proceder a crear las minutas, debe de existir una alineación. Dependiendo del tipo de planos que se desean producir, puede ser necesario también disponer de un perfil ya creado.

A1.2.2 Crear minutas

El proceso para crear minutas para planos de planta y perfil es el siguiente:

1. Hacer clic en la ficha Salida → Grupo Maquetación de planos → Crear marcos de previsualización.

Figura 87. Cuadro de creación de minutas (Fuente: Propia)

2. En la página Alineación, seleccionar una alineación.
3. En la sección de Intervalo de P.K., elegir entre las siguientes dos opciones:
 - Automático: selecciona la alineación completa. El P.K. inicial es el P.K. inicial de la alineación y el P.K. final es el P.K. final de la alineación.
 - Especificado por el usuario: debe introducir un valor o hacer clic en  para especificar la ubicación inicial y final a lo largo de la alineación en el área de dibujo.
4. Hacer clic en siguiente para mostrar la página de Planos.
5. En la página de Planos, elegir el tipo de plano que se desea generar:
 - Planta y perfil.
 - Solo plantas.
 - Solo perfiles.

En el campo Plantilla de plano de planta y perfil, hacemos clic en el cuadro de puntos y buscamos la plantilla deseada. En la carpeta Template se dispone de ventanas gráficas ya configuradas con el tipo de ventana adecuados, y también las que hemos creado anteriormente.

6. En la sección Posición de minuta, se puede seleccionar una de las siguientes opciones:
 - A lo largo de la alineación: las minutas se alinearán a lo largo de la alineación. Con este método normalmente se suele hacer un uso más eficiente del papel durante el trazado.
 - Girar al norte: las minutas se girarán de acuerdo con la orientación de la flecha de norte del dibujo.
7. Si se desea podemos establecer una distancia antes del inicio de la alineación de la primera minuta.
8. En la siguiente página, se debe especificar un nombre, y si lo desea una descripción del objeto de grupo que se creará.
9. En la sección Minuta, precisar una capa, un nombre, un estilo y un estilo de etiqueta para las minutas.
10. En la página de Líneas de solape, puede insertar las líneas de solape automáticamente y definir como se colocan. Estas líneas de solape, la especificamos en una capa diferente a las minutas para después editar la capa para que no salgan en la impresión de los planos.
11. En la siguiente página Visualización del perfil, verificar que se haya seleccionado un estilo de visualización del perfil, y si lo deseamos podemos cambiar dicho estilo. Y lo mismo, con el conjunto de guitarras.
12. Por último, hacer clic en Crear minutas para crear los marcos.

A1.2.3 Crear los planos de impresión

Cuando el asistente haya terminado de crear las minutas, se observará que las minutas y líneas de solape se crean en el dibujo.

Una vez que se han creado las minutas y las líneas de solape, procedemos a crear los planos.

1. Hacer clic en la ficha Salida→grupo de Maquetación de planos→ Crear planos.

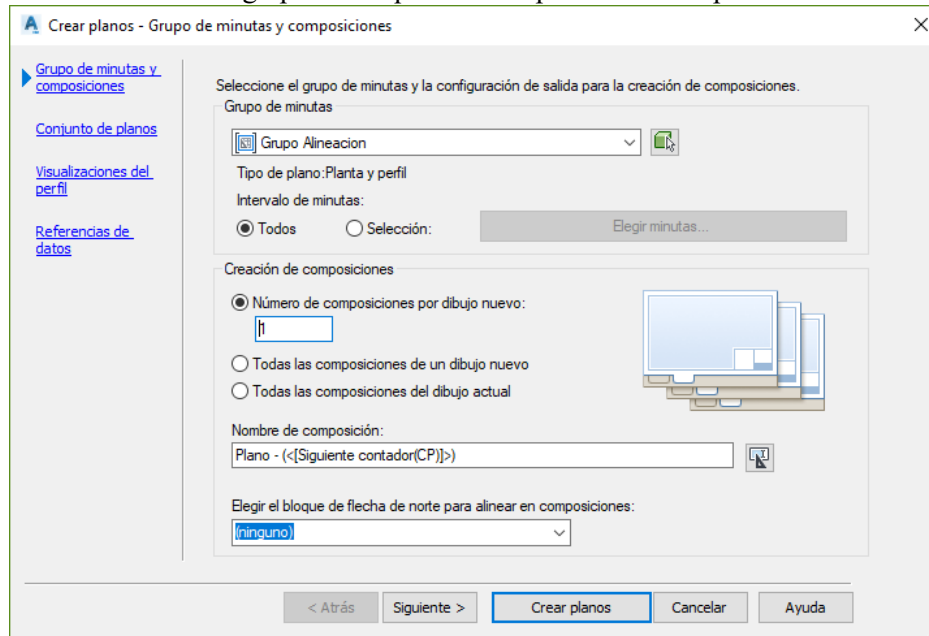


Figura 88. Menú creación de minutas (Fuente: Propia)

2. En la página Grupo de minutas y composiciones, selecciona el grupo de minutas de la lista. En Intervalo de minutas, podemos seleccionar las minutas que deseamos o todas.
3. En la sección Creación de composiciones, podemos elegir una de las siguientes opciones:
 - Número de composiciones por dibujo nuevo (1): esta opción es apropiada cuando se desea tener un equipo de trabajo, en el cual cada miembro del equipo se encarga de un plano individual. Si se elige esta opción y se introduce 1 como valor, en cada dibujo nuevo se creará una composición nueva. Si, por ejemplo, introducimos el valor 3, se crean 3 nuevas composiciones en cada dibujo nuevo.
 - Todas las composiciones de un dibujo nuevo: se pueden colocar todas las composiciones en un dibujo nuevo.
 - Todas las composiciones del dibujo actual: genera todas las composiciones en el dibujo actual.
4. Insertar un nombre para cada composición o dejar por defecto el que viene, y si se desea se puede utilizar la opción Elegir el bloque de flecha de norte para alinear en composiciones.
5. En la página conjunto de planos, seleccionamos un nombre para el conjunto de planos o se puede añadir a un conjunto de planos ya existente. Especificar la ubicación del almacenamiento del conjunto de planos y de los archivos de planos.
6. En la página Visualización del perfil, elegimos el perfil longitudinal que se va a representar, y como se va a alinear los datos que se muestran en la vista en planta y en la visualización del perfil.
7. En la siguiente página Referencia de datos, se puede seleccionar u omitir los datos que desee para los planos.
8. Hacer clic en Crear planos, y en el caso de que vaya a representar planos que contengan visualizaciones del perfil, habrá que especificar un punto de inserción en el espacio modelo para crear las visualizaciones del perfil.

A1.3 Etiquetas de Alineación

Una vez que se ha creado la alineación, el estilo que C3D aplica puede no ser el deseado; puede ocurrir que los puntos kilométricos aparezcan encima de la alineación, en un formato no concordante con la norma, sin marcas de graduación... Si esto ocurre, basta con pinchar encima de la alineación y seleccionar *Editar etiquetas de la alineación...*

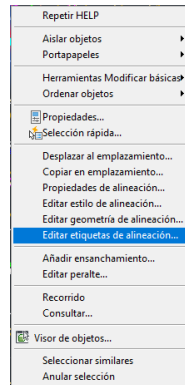


Figura 89. Opciones de alineación (Fuente: Propia)

Se abre entonces el menú de Etiquetas de alineación, donde se pueden añadir las etiquetas que queremos que aparezcan en la alineación.

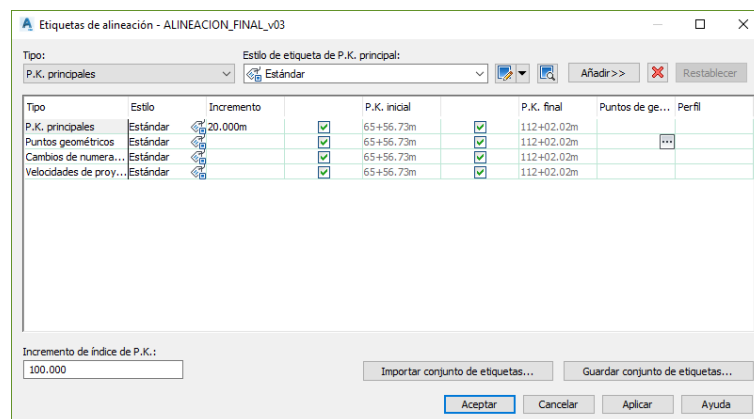



Figura 90. Menú etiquetas de alineación (Fuente: Propia)

Existen las siguientes etiquetas para la alineación:

- P.K. principales.
- P.K. secundarios.
- Puntos geométricos.
- Cambios de numeración de P.K.
- Velocidades de proyecto.
- Puntos de geometría del perfil.
- Puntos críticos de peralte.

A1.3.1 Añadir Etiquetas a la Alineación

Para añadir etiquetas al conjunto de etiquetas de la alineación, hay que seguir los siguientes pasos:

1. En la lista Tipo, seleccionar el tipo de etiqueta que se desea añadir. En el caso de querer añadir etiquetas de P.K. secundarios se debe haber añadido al menos un tipo de etiqueta de P.K. principal al conjunto de etiquetas.
2. En la lista de estilos, seleccione un estilo para el tipo de etiqueta.
3. Luego, una vez seleccionado el estilo, hacer clic en Añadir. En el caso de querer suprimir una etiqueta, hay que seleccionar el tipo de etiqueta y hacer clic en la X roja. No se puede suprimir un P.K. principal si tiene asociado un P.K. secundarios.
4. Si se selecciona el tipo de etiqueta Puntos geométricos, Puntos de geometría de perfil o Puntos críticos de peralte, se debe seleccionar los puntos específicos que desea etiquetar.
5. Para cambiar el Estilo de una etiqueta, podemos hacer clic en la columna Estilo o colocando en Tipo la etiqueta que deseamos cambiar el estilo y luego haciendo clic sobre . haciendo clic sobre la fecha, nos aparece un menú desplegable:

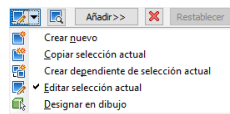



Figura 91. Menú desplegable de estilos (Fuente: Propia)

En el cual podemos crear un nuevo estilo, copiar la selección actual, crear una dependencia de un estilo, editar el estilo actual o designar en un dibujo.

6. En la columna Incremento, indicamos el valor de la distancia entre las etiquetas de P.K. principal o aceptar su valor por defecto.
7. En la columna P.K. inicial, desactivar la casilla de verificación e indicar un nuevo valor de P.K. inicial o aceptar su valor por defecto.
8. En la columna P.K. final desactivar la casilla de verificación e indicar un nuevo valor de P.K. final o aceptar su valor por defecto. Los P.K. inicial y final por defecto de cada tipo de etiqueta son el principio y el final de la alineación.
9. En la columna Puntos de geometría para etiquetar, haga clic en  para actualizar los puntos que desea etiquetar. Las columnas Puntos de geometría para etiquetar solo está disponible para los tipos de etiqueta Puntos geométricos, Puntos de geometría de perfil y Puntos críticos de peralte.

Se puede Guardar un conjunto de etiquetas para utilizarlo en otros archivos Cad, y también Importar un conjunto de etiquetas.

A1.3.2 Editar los estilos de etiqueta de la alineación

Haciendo clic sobre la columna estilo de cada tipo de etiqueta, podemos modificar ciertas opciones de la etiqueta. Nos saldrá la siguiente ventana, en la cual tenemos una lista desplegable con los estilos que se han creado. En el caso de no haber creado ninguno, nos saldrá un estilo Estándar.

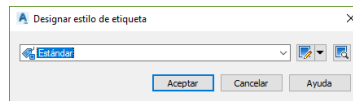


Figura 92. Designación de estilo de etiqueta (Fuente: Propia)

Haciendo clic sobre el cuadrado con el lápiz, modificamos el estilo de la etiqueta:

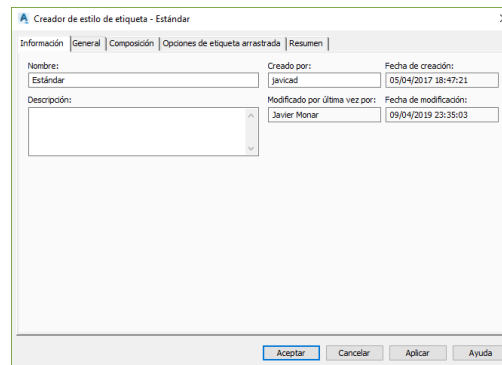


Figura 93. Menú de creación de estilos de etiqueta (Fuente: Propia)

Nos aparecerá el cuadro Creador de estilo de etiqueta, que esta formado por 5 paletas:

- Información. Nombre, descripción y fechas de creación y modificación.
- General: podemos modificar aquí el estilo del texto, a que capa pertenece el texto de etiqueta, su comportamiento y la legibilidad en planta.
- Composición: Elementos a añadir como etiquetas de la alineación y la configuración de cada elemento. Los componentes que podemos añadir son: Texto, Línea, Bloque, Marca o Texto de Referencia.
- Opciones de etiqueta arrastrada: en esta pestaña se configuran propiedades de la etiqueta, como la directriz y los componentes.
- Resumen: muestra toda la información que contiene la etiqueta.

Modificar texto de la etiqueta

Para cambiar la visualización del carácter de P.K. en el Creador de estilo de etiqueta, hacer clic en la ficha Composición:

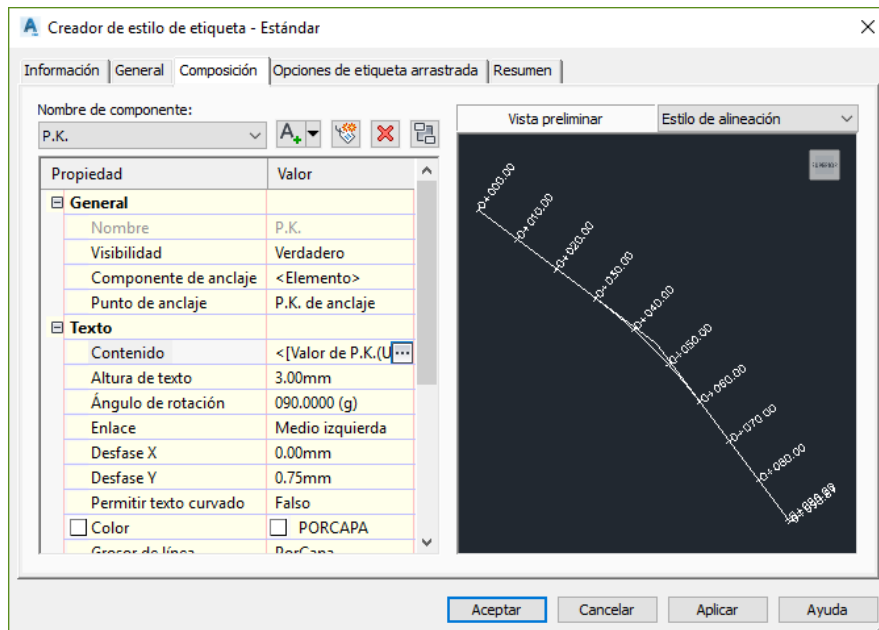


Figura 94. Menú creador de estilos de etiqueta (Fuente: Propia)

En Texto hacer clic sobre ..., que aparece cuando hacemos clic sobre el Valor del Contenido. Aparecerá el siguiente cuadro, que tiene dos pestañas:

- Formato, en la cual se modifican el estilo del texto.
- Propiedades, donde se modifican las propiedades del texto que aparece en la etiqueta.

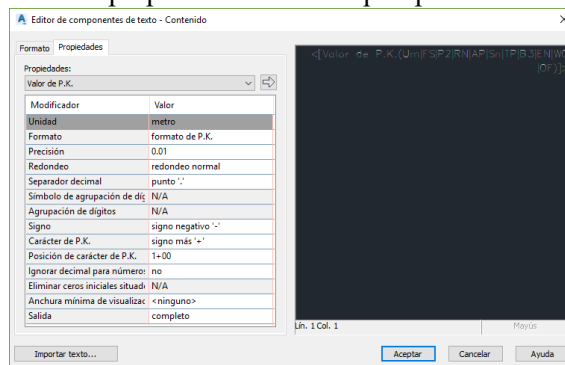



Figura 95. Menú editor de componentes de texto de etiqueta (Fuente: Propia)

En la lista de Propiedades, seleccionar Valor de P.K. y especificar los modificadores según sea necesario. Por ejemplo, para colocar la numeración del P.K.: 1+000, en el modificador Posición de carácter de P.K., hacemos clic sobre el valor y seleccionar de la lista desplegable la opción deseada.

Una vez que se han realizado los cambios en los modificadores, hacemos clic sobre la flecha:  para insertar en la ventana del Editor de componentes de texto la propiedad.

Una vez que se ha insertado la propiedad en la ventana, borramos de la ventana la propiedad anterior. Y luego le damos a Aceptar.


En el Editor de componentes de texto, en la lista desplegable se pueden modificar otras múltiples propiedades.

A1.3.3 Insertar marca de P.K.

En la alineación que se nos aportó, no aparecían las marcas de los P.K. sobre la alineación. Para añadir dichas marcas se siguió el siguiente proceso:

En la ficha composición existen una serie de iconos con los que se puede añadir, copiar, eliminar u ordenar los componentes de la etiqueta:



En este caso, hacer clic sobre la lista desplegable  y luego pinchar sobre Línea. Se añadirá un nuevo componente Línea a la etiqueta.

A continuación, modificar las propiedades que se vean necesarias de la línea y hacer clic sobre Aceptar.

A1.4 Justificación Sección Transversal

Se presentan a continuación las secciones transversales a partir de las cuales se han realizado las secciones inteligentes. Estas secciones se nos aportaron con el proyecto base en estudio, en este proyecto base existían multitud de secciones para diferentes ejes de carreteras. En nuestro caso, elegimos las secciones transversales correspondientes al eje principal, que consiste en una carretera convencional con un carril para cada sentido.

Además, el lector debe apoyarse en los planos correspondientes de secciones transversales.

1. Sección tipo de carretera convencional.

- Calzada: 2 carriles de 3,50 metros cada uno. 7 metros en total.
- Arcenes: 1,75 metros.
- Bermas: En terraplén:
En desmonte:
- Cunetas: Triangular simétrica con 1,80 m en talud 6H:1V.

2. Firmes.

Se considera una categoría de explanada E-3.

Existen suelos tolerables en todo el tramo de la carretera, por lo que la explanada estará formada por los siguientes suelos:

- S-EST3 (30 cm): Suelo estabilizado in-situ.
- Suelo adecuado (50 cm).

La solución que se adoptó como firme es MBC sobre base de zahorra artificial, con esta solución:

- Mejora de la capacidad drenante.
- Mejor absorción de asentamientos del terreno.

A partir de lo anterior, de conformidad con la Norma 6.1-I.C. “Secciones de firme”, aprobada por FOM/3460/2003, para el tronco de la carretera convencional se adopta la sección 231 de firmes, formada por:

- 20 cm de MBC.
- 25 cm de Zahorra Artificial.
- Explanada E3.

La categoría de tráfico que se ha considerado es T2.

Los espesores de capas de mezcla bituminosa son:

- Capa de rodadura: 3 cm.
- Capa intermedia: 7 cm.
- Capa base: 10 cm.

Los tipos de mezclas bituminosas aplicados en las capas superiores del firme son:

- Capa de rodadura: Mezcla Bituminosa Tipo BBTM 11B BC50/70.
- Capa intermedia: Mezcla Bituminosa Tipo AC22 bin BC50/70 S.
- Capa base: Mezcla Bituminosa Tipo AC32 base BC50/70 G.

Tratamiento entre capas:

- Entre la capa de rodadura y la capa intermedia, ambas son capas de mezclas bituminosas, recibirán un riego de adherencia tipo ECR1.
- Entre la capa intermedia y la capa base, ambas también son mezclas bituminosas, recibirán un riego de adherencia tipo ECR1.
- Entre la capa base del firme y la capa de zahorra artificial, se proyectará un riego de imprimación tipo ECI, ya que es una capa granular la zahorra que recibe una capa de mezcla bituminosa.
- Entre las capas zahorra artificial y el suelo estabilizado S-EST3, se proyectará un riego de curado ECR1.

3. Arcén.

En arcenes de anchura superior a 1,25 m, su firme dependerá de la categoría de tráfico pesado prevista para la calzada y de la sección adoptada en esta.

La anchura del arcén previsto es de 1,75 m, por lo que se adoptará una sección diferente a la del firme de la calzada adyacente.

Como tenemos una categoría de tráfico pesado T2 y la calzada con pavimento de mezclas bituminosa en caliente, el pavimento del arcén constará de una capa de mezcla bituminosa con el mismo espesor que la capa de rodadura del firme de la calzada. Como la capa de rodadura es discontinua en caliente, el pavimento del arcén se constituirá con las mismas capas de rodadura e intermedia que el firme de la calzada, de forma que vayan enrasadas las capas intermedias.

Debajo del pavimento del arcén se dispondrá zahorra artificial hasta alcanzar la explanada, por lo tanto, se adoptan dos capas de zahorra artificial, una de 15 cm y otra de 20 cm.

4. Valores de los sobreanchos.

TABLA 7. VALORES DE LOS SOBREANCHOS

SOBREANCHO	MATERIAL	VALOR (cm)
Por derrames (d)	Pavimento de hormigón	0
	Hormigón magro vibrado	0
	Otros materiales	e_s
Por criterios constructivos (s)	Mezclas bituminosas	5
	Materiales tratados con cemento	6 a 10
	Hormigón magro vibrado	20
	Capas granulares	10 a 15

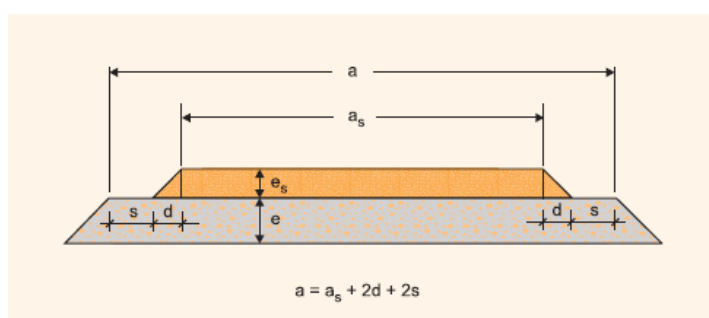


Figura 96. Valores de sobreancho en secciones en capas de la sección transversal (Fuente: Norma 6.1-I.C)

5. Berma.

Para que el drenaje de las aguas se realice correctamente, habrá que disponer unos materiales adecuados en la berma, que consisten en:

- Relleno para impermeabilización de bermas según O.C. 17/2003, con un espesor de 26 cm.
- Relleno según O.C. 17/2003, con un espesor de 25 cm. Este material será una zahorra artificial, suelo adecuado o suelo seleccionado, con un coeficiente de permeabilidad mayor o igual que el de las zahorras del arcén. El espesor mínimo de esta capa será de 20 cm.

6. Taludes de desmonte/terraplén

SITUACIÓN	TALUDES DE DESMONTE Y TERRAPLÉN			
	DESMONTE		TERRAPLÉN	
	H	V	H	V
DEL P.K. 0+000 AL P.K. 5+920	3	2	3	2
DEL P.K. 5+920 AL P.K. 6+300	2	1	-	-
DEL P.K. 6+300 AL P.K. 7+000	3	2	3	2
DEL P.K. 7+000 AL P.K. 16+723,09	2	1	2	1

Tabla 6. Taludes Desmonte-Terraplén (Fuente: Propia)

A1.5 Diseño de Obra de Drenaje Transversal en AutoCAD Civil 3D

A1.5.1 Método 1: Diseño de ODT con líneas de rotura

Una vez que tenemos ya creada la Obra Lineal, podemos crear superficies a partir de vínculos o líneas características de la misma. En nuestro caso, creamos una superficie que englobe la parte superior de la carretera. Esta superficie será una cáscara que está formada por la parte superior de la superficie rodante, la cuneta, los terraplenes y desmontes. A esta superficie la llamamos: Top Carretera.

Anteriormente ya tendríamos que tener creada una superficie del terreno natural, en nuestro caso la superficie Carto_2018 es la superficie del terreno de nuestro modelo.

Para la creación de la ODT necesitamos una superficie que este formada por la unión del terreno natural y la superficie de la carretera. Para crear esta superficie:

1. Pinchar con el botón derecho en *Superficies*. Seleccionamos *Crear Superficie...*

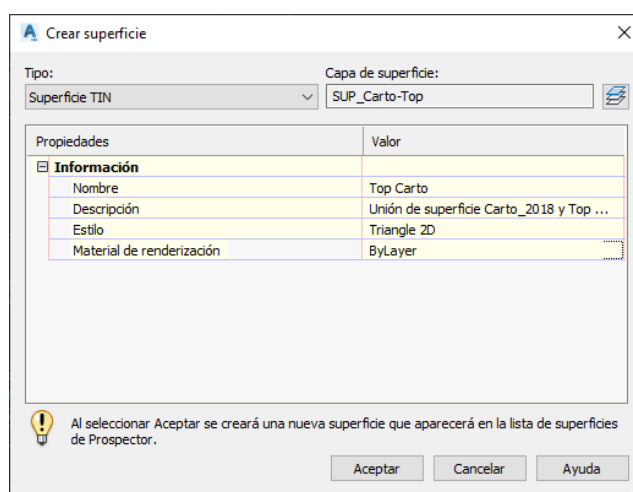


Figura 97. Crear Superficie (Fuente: Propia)

Especificamos la capa de la superficie y sus propiedades. En nuestro caso, la llamamos *Top Carto*.

2. Pinchando con el botón derecho en Ediciones, nos saldrá una serie de opciones, en la cual hacemos clic sobre *Pegar Superficie*.

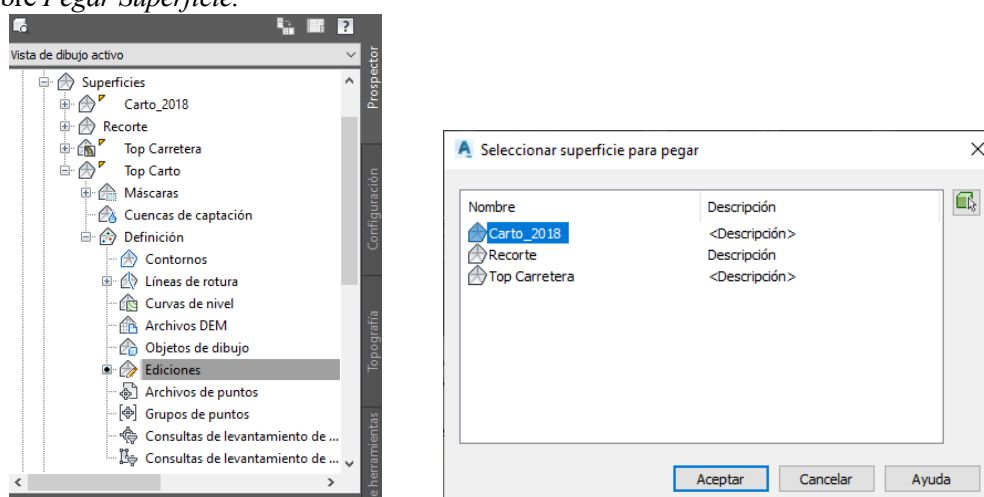


Figura 98. Pegar Superficies (Fuente: Propia)

Aparecerá el cuadro: Seleccionar superficie para pegar. En primer lugar pegamos la superficie del terreno natural y repetimos el proceso pegando la superficie Top Carretera.

Una vez creada la superficie Top Carto, se crea una alineación para la ODT. Para crear esta alineación hay que tener en cuenta por donde pasa el río. En nuestro caso, en la imagen inferior, la línea de trazo es la que define la línea de agua. Por lo tanto, creamos una alineación que sustituya la línea de agua que pasa por debajo de nuestra obra lineal.

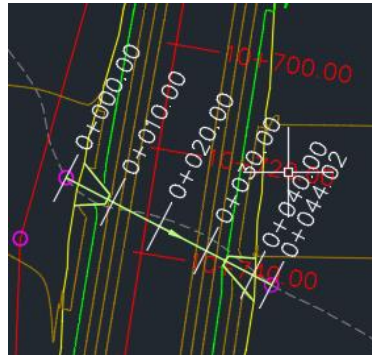


Figura 99. Alineación y embocaduras de la ODT (Fuente: Propia)

Realizamos el mismo proceso que en una obra lineal, creamos un perfil longitudinal de la alineación y luego se define en él la rasante de la ODT.

A continuación, creamos el contorno exterior del muro de contención de la ODT. En la imagen superior, podemos ver en cada margen de la alineación de la ODT. La colocación de esta embocadura tiene las siguientes características:

- Hay que encontrar el punto en que la diferencia de altura entre la soleta y el terraplén sea la altura que queremos que tenga el marco de la embocadura. Es decir, que la diferencia de cota entre la superficie del terreno natural suponiendo que es plana y la cota del marco superior de la embocadura sea dos metros, y esta coincida con la cota del terraplén.

Tras hacer esto, creamos una línea característica de la embocadura y le asignamos las elevaciones correspondientes a la superficie Top Carretera. Para ello, creamos una *Línea característica a partir de objetos*, luego marcamos la opción de *Asignar elevaciones*, y le asignamos las elevaciones desde superficie.

Encima de esta línea característica, vamos a crear una polilínea en 3D. una vez creada, pinchamos en sus propiedades y a los puntos correspondientes al marco le cambiamos la cota que tienen. La cota que le asignamos es la que disponen menos la altura del marco. Por ejemplo, si la cota que tienen es de 85.25 y nuestro marco es de 2 metros de altura, entonces la cota nueva del punto será 83.25.

Una vez generada la polilínea en 3D con sus respectivas cotas, se expande la pestaña de superficie. Buscamos la superficie unión del terreno con la carretera (en nuestro caso Top Carto) y en el desplegable *definición* seleccionar *Línea de Rotura tipo muro*. No cambiamos la configuración que viene por defecto, sólo hay que seleccionar el Tipo de línea de rotura y una descripción breve.

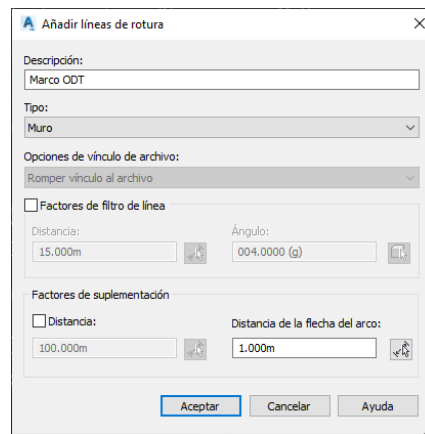


Figura 100. Menú Línea de rotura (Fuente: Propia)

Haciendo clic en Aceptar, el programa nos pedirá que seleccionemos objeto, entonces seleccionamos la polilínea 3D. Ahora nos pedirá que seleccionemos el lado de desfase, señalaremos el lado que queremos que mantenga la elevación del terreno. Lo siguiente que solicita el programa es decidir si a cada punto de la línea le vamos a asignar la misma elevación o diferente. En nuestro caso, vamos a asignarle distinta elevación a los puntos correspondientes al marco, por lo que seleccionamos la opción *Individual*.

A continuación, hay que definir la altura de cada punto, esta acción es mas sencillo si utilizamos la opción de incremento de elevación respecto del punto de definición de la línea de rotura, por lo que en la barra de comandos seleccionamos la opción *Incremento*. Entonces, en los puntos correspondientes al marco, le asignamos un incremento de dos metros en nuestro caso, y los otros dos puntos los dejamos con la misma elevación.

El resultado que obtenemos puede no ser el deseado. En el caso, de que no salga una embocadura correctamente, modificamos la superficie intercambiando aristas o eliminando puntos del interior de la embocadura.

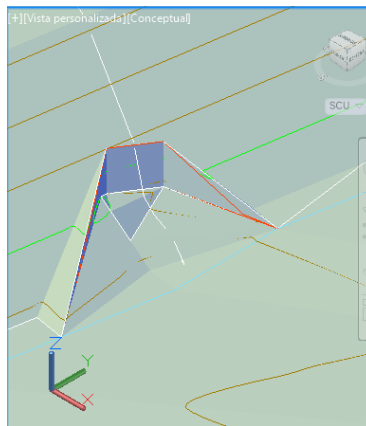


Figura 101. Problemas ODT (Fuente: Propia)

En nuestro caso, tuvimos el problema que vemos en la imagen superior. Se habían creado las líneas de rotura adecuadamente, pero al estar compuesto el terraplén por muchas líneas de las tongadas, nos dio problemas en el interior de la embocadura.

Para resolver el problema anterior, se hizo lo que se comentó anteriormente de editar la superficie, intercambiando aristas o eliminando puntos. Y obtuvimos el siguiente resultado:

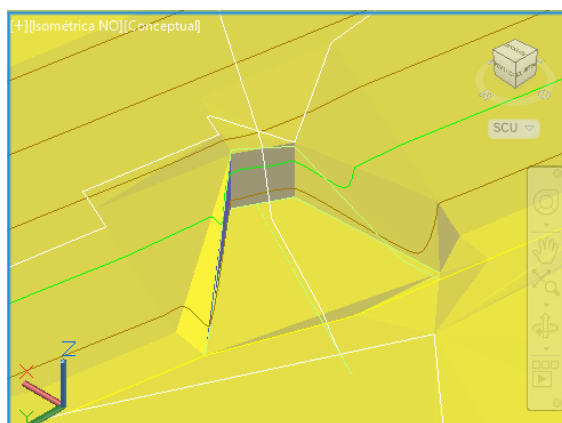


Figura 102. Vista de la ODT (Fuente: Propia)

A1.5.2 Método 2: Diseño de ODT con explanación

En este apartado se va a explicar otra forma de realizar las embocaduras de las ODT.

Hasta el punto donde se incorporaron las líneas características es el mismo proceso, por lo que no hace falta explicarlo ahora.

Una vez creado la alineación, perfil longitudinal y rasante de la ODT. Creamos una polilínea cerrada con la siguiente forma:



Figura 103. Polilínea cerrada de la embocadura (Fuente: Propia)

A continuación, asignamos las elevaciones de la solera a la polilínea. Para ello, hacemos clic en propiedades y le cambiamos la elevación a todo el conjunto.

Luego, hacemos clic en Herramientas de creación de explanación.

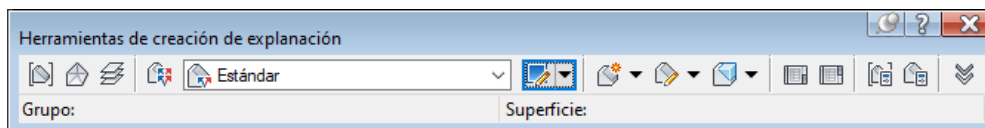


Figura 104. Herramientas de creación de explanación (Fuente: Propia)

En el icono del cuadrado con el lápiz, generamos un nuevo estilo.

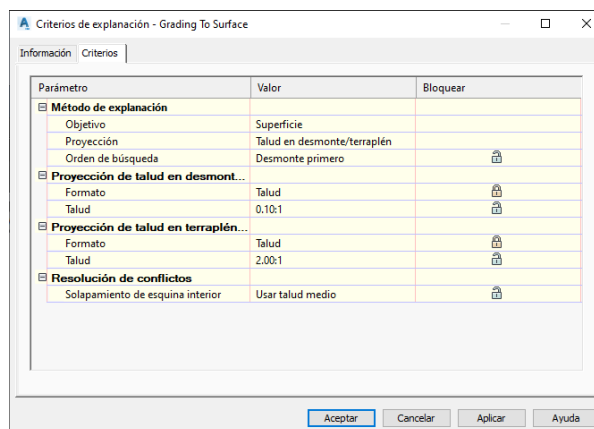


Figura 105. Nuevo estilo de Explanación (Fuente: Propia)

En objetivo, seleccionamos la opción Superficie. Y luego cambiamos el talud en desmonte a 0.1:1.

A continuación, seleccionamos la superficie que queremos que tome de referencia y creamos la explanación de la polilínea cerrada.

A1.6 Diseño de Transiciones a Puentes en AutoCAD Civil 3D

A1.6.1 Método 1

En la interacción entre el puente y el corredor vamos a modelar un muro de contención que se proyecte en el terreno.

1. En primer lugar, vamos a las propiedades del corredor y creamos una superficie correspondiente a la parte superior de la carretera (en nuestro modelo se llama Top Carretera). En la opción de contorno, limitamos el contorno hasta donde se extienda el corredor.
2. A continuación, procedemos a dividir en regiones nuestra obra lineal.

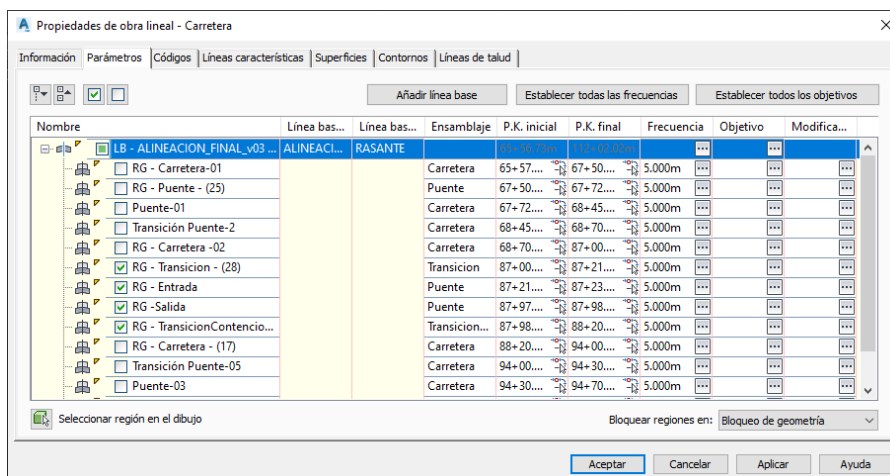


Figura 106. Regiones de la obra lineal (Fuente: Propia)

De esta manera, podemos trabajar con las regiones del corredor que nos interesen y podemos dividir la zona del puente en las siguientes regiones:

- Zonas de transición, las cuales tienen una longitud de 30 metros.
- Zona entrada y salida, utiliza un ensamblaje para que se adapte a la entrada al puente.
- Zona puente 2, no dispone de ensamblaje ya que disponemos del modelo 3D del puente que introduciremos como un objeto.

3. En tercer lugar, creamos un ensamblaje que sólo disponga de las capas de rodadura e intermedia:



Figura 107. Ensamblaje transición puente (Fuente: Propia)

4. Volvemos a las regiones de la obra lineal, y en la región primera de transición colocamos el ensamblaje que se ha creado para esta zona. Y quitamos los objetivos de superficie que disponga esta región. También podemos reducir la frecuencia en esta parte, para que la transición se genere con mayor precisión.
5. Aislamos la región transición en estudio. Para ello, seleccionamos en el modelo en planta nuestra región, hacemos clic con el botón derecho, buscamos la opción *Modificar Región* y luego hacemos clic sobre *Aislar Región*.
6. Cuando la tenemos aislada, se pretende extraer de esta zona líneas características. Para ello, hacemos clic sobre el corredor, nos aparecerá el menú correspondiente al de Obra lineal. Y existe una opción que se llama *Líneas Características a partir de obra lineal*:

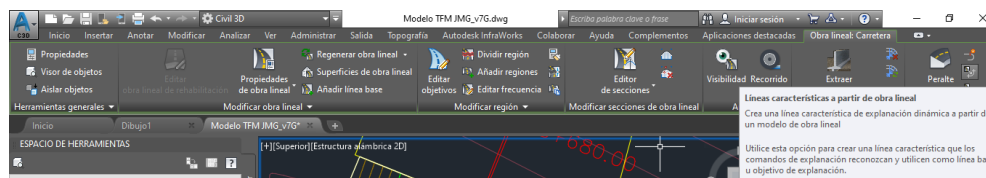


Figura 108. Extraer líneas características de la obra lineal (Fuente: Propia)

7. A continuación, mediante la herramienta anterior, se van a extraer las líneas características que nos interesen. Las líneas que nos interesan son aquellas a partir de las cuales vamos a realizar la explanación.

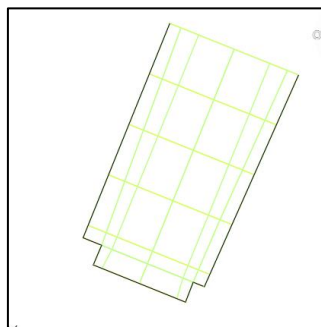


Figura 109. Líneas características para extraer de la obra lineal (Fuente: Propia)

La línea de color negro es la que se necesita obtener como línea característica. Se puede extraer fácilmente en la vista en 3 dimensiones, ya que necesitamos la línea más superior de la obra lineal. Se pueden crear también líneas características y luego se unen con las demás en el caso de que se necesiten. Se debe obtener una línea característica cerrada.

Para unir dos líneas características, hacemos clic sobre una de las líneas características y nos saldrá un menú de opciones en la parte superior, y buscamos el símbolo siguiente:

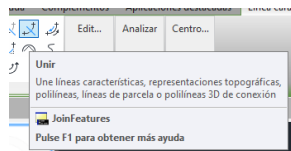
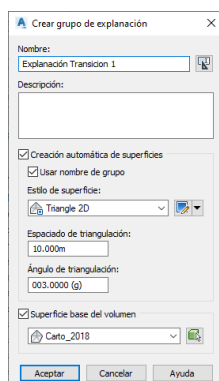


Figura 110. Unir líneas características (Fuente: Propia)

8. Una vez obtenida una sola línea característica, hacemos clic en Herramientas de creación de explanación. Y luego, hacemos clic en Crear grupo de explanación:



Activamos la opción de Creación automática de superficies y la superficie base del volumen será aquella que corresponda al terreno natural.

A continuación, en el menú desplegable de las herramientas de creación de explanación, seleccionamos *Grading to surface*. Y una vez seleccionada esta opción, seleccionamos la línea característica que se ha creado anteriormente.

Aplicamos la explanación a toda la línea característica con los mismos taludes que disponemos en nuestro terraplenes y desmontes de la obra lineal.

Figura 111. Crear grupo de explanación (Fuente: Propia)

El resultado que obtenemos tendrá que ser parecido a:

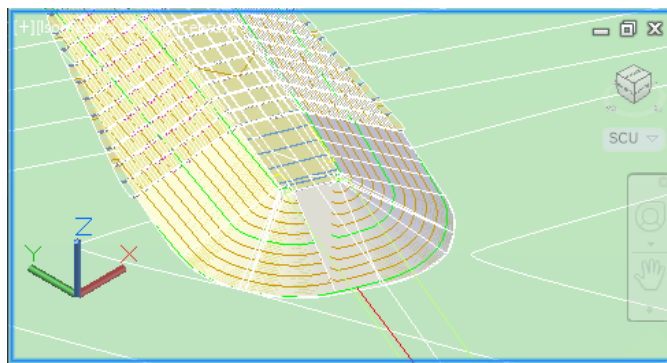


Figura 112. Ejemplo de resultado primera transición (Fuente: Propia)

A1.6.2 Método 2

Otro modelo de cómo manejar la situación de la transición a un puente, es el siguiente que se va a explicar. Los pasos para seguir son parecidos, pero cambia el ensamblaje que se va a utilizar.

1. En primer lugar, deberíamos de crear la superficie superior de la obra lineal.
2. En segundo lugar, creamos una región tras el puente que le damos el nombre de transición 2.
3. A continuación, creamos un nuevo ensamblaje del siguiente tipo:

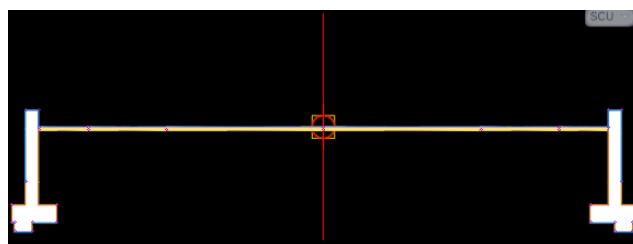


Figura 113. Ensamblaje muro de contención (Fuente: Propia)

4. Volvemos a las regiones de la obra lineal, y en la región primera de transición colocamos el ensamblaje que se ha creado para esta zona. Y quitamos los objetivos de superficie que disponga esta región. También podemos reducir la frecuencia en esta parte, para que la transición se genere con mayor precisión.
5. Aislamos la región transición en estudio. Para ello, seleccionamos en el modelo en planta nuestra región, hacemos clic con el botón derecho, buscamos la opción *Modificar Región* y luego hacemos clic sobre *Aislar Región*. Obtendremos entonces:

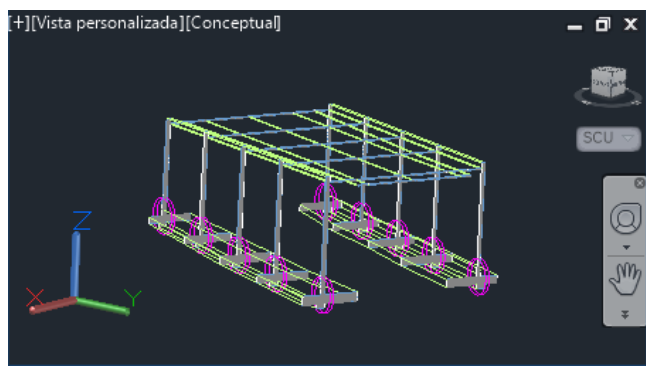


Figura 114. Estructura de la obra lineal (Fuente: Propia)

6. A continuación, si activamos la superficie del terreno, veremos que la superficie no se proyecta. Ya que no hemos realizado la explanación con las líneas características.

7. Extraemos las líneas características de la obra lineal como hicimos en el método 1, obteniendo una única línea característica del conjunto.
8. Realizamos el mismo proceso de crear explanación, pero en este caso con una pendiente de 0.01:1.

El resultado obtenido es el siguiente:

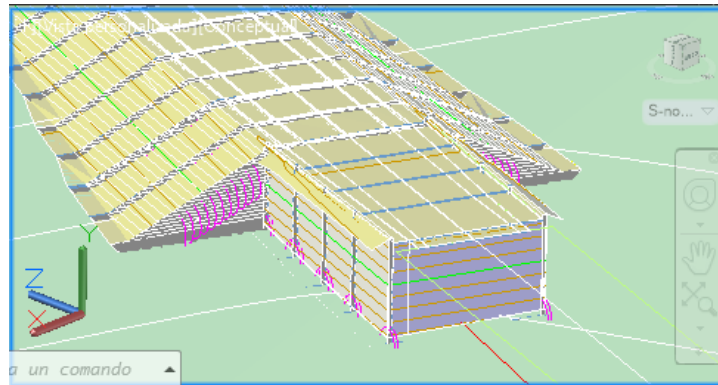


Figura 115. Resultado segundo ejemplo de transición (Fuente: Propia)

Y el resultado final sería el siguiente:

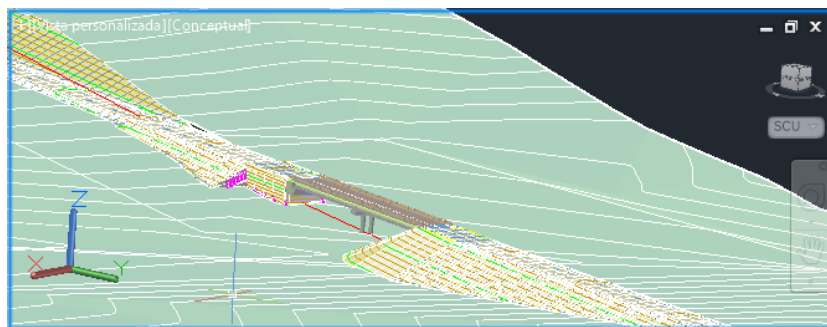


Figura 116. Resultado obra de paso en civil 3D (Fuente: Propia)

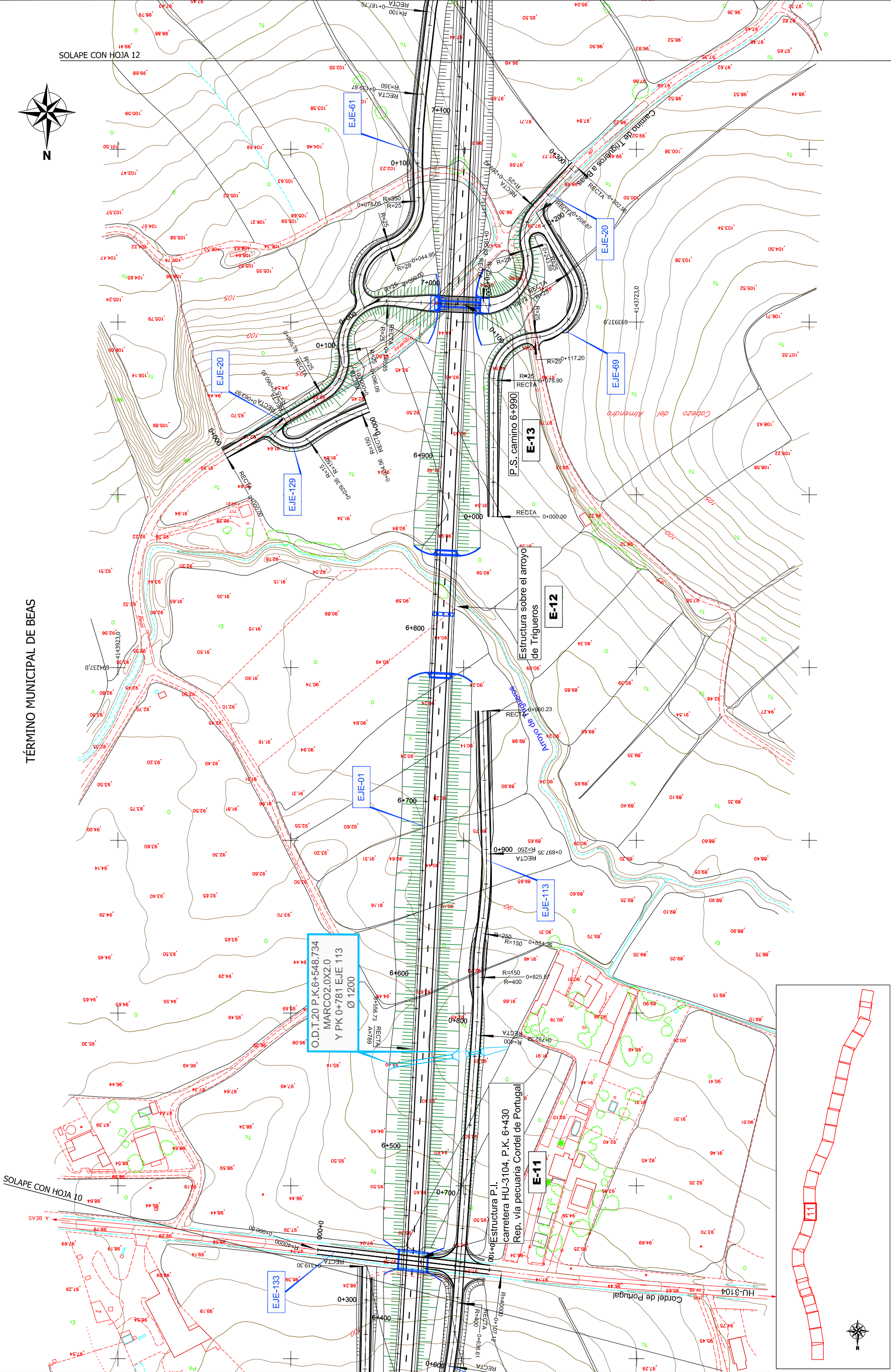
Anejo 2. Planos del proyecto base

TÉRMINO MUNICIPAL DE BEAS



SOLAPE CON HOJA 12

SOLAPE CON HOJA 10



VALVERDE DEL CAMINO

SAN JUAN DEL PUERTO



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

SECRETARÍA DE ESTADO DE INFRAESTRUCTURAS, TRANSPORTE Y VIVIENDA

SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

DEMARCACIÓN DE CARRETERAS DEL ESTADO EN ANDALUCÍA OCCIDENTAL

EL ING. AUTOR DEL PROYECTO

D^a GUADALUPE DÍAZ ALONSO

EL ING. DIRECTOR DEL PROYECTO

D PEDRO RODRÍGUEZ ARMENTEROS

CONFORME CONTRATISTA:

D ALVARO RODRÍGUEZ CÁCERES

TÍTULO DEL PROYECTO:

PROYECTO MODIFICADO Nº 1 VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS EN LA CARRETERA N-435, del P.k. 203 al 221,5

FECHA

AGOSTO 2016

ESCALA

0 10 20 30 m

DESIGNACIÓN DEL PLANO:

PLANTA

Nº DE PLANO

3.1

HOJA

11

DE

25

NOMBRE DEL FICHERO DIGITAL:

3.L.P\ANTA_GENERAL.DWG



SAN JUAN DEL PUERTO

SECRETARÍA DE ESTADO DE
INTERIORES Y VIVIENDA

EL ING. AUTOR DEL PROYECTO

EL ING. DIRECTOR DEL PROYECTO:

CONFORME CONTRATISTA:

TÍTULO DEL PROYECTO:

TÍTULO DEL PROYECTO: PROYECTO MODIFICADO N° 1
VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
EN LA CARRETERA N-435, del P.k. 203 al 221,5

ECHA

6SCALA

ENLACE DE BEAS SUR Y TRIGUEROS NORTE

TERMINO MUNICIPAL

E-14
P.I. carretera 8+040

00310
ST 49 P.K. 0+334 EJE
-00 EJE 73

SOLAPÉ

VALVERDE DEL CAMINO

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS

DEMARCACIÓN DE
CARRETERAS DEL ESTADO
EN ANDALUCÍA OCCIDENTAL

EL ING. AUTOR DEL PROYECTO

EL ING. DIRECTOR DEL PROYECTO

CONFORME CONTRATISTA:

TÍTULO DEL PROYECTO:

PROYECTO MODIFICADO N° 1

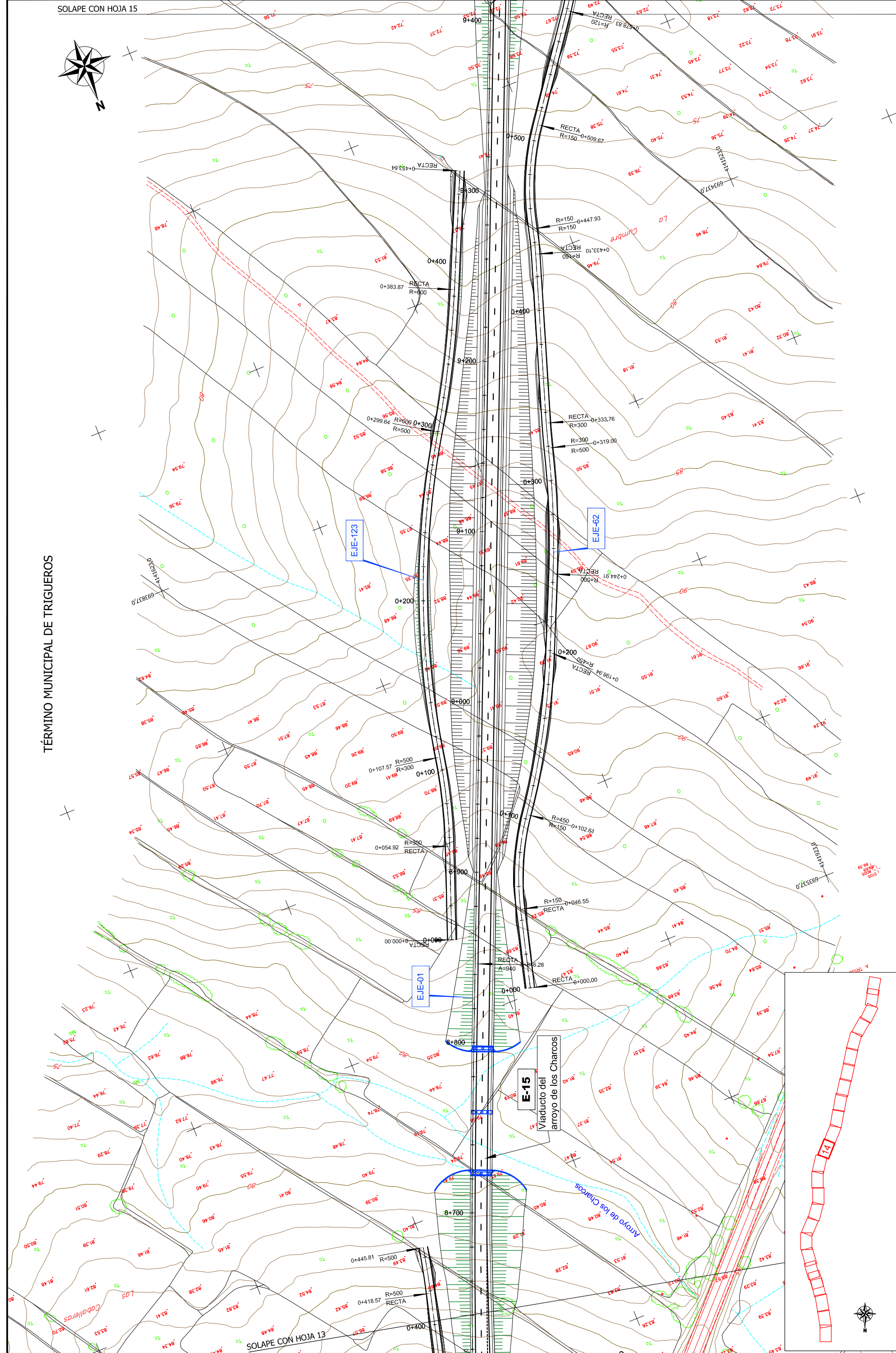
VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS

EN LA CARRETERA N°435, del P.k. 203 al 221,5

FECHA	AGOSTO 2016
CLAVE:	






PLANTA

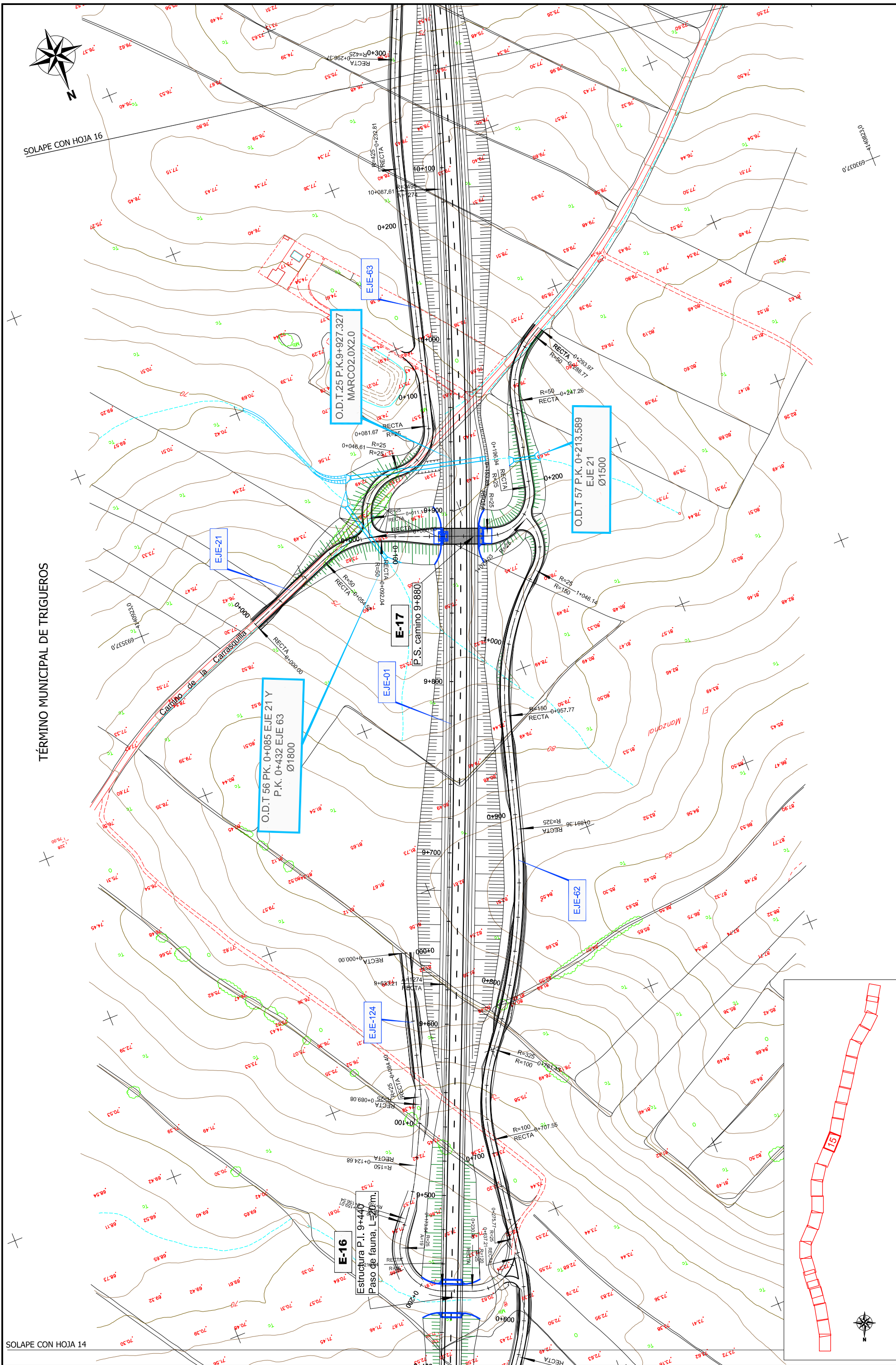
Nº DE PLANO	3.1	HOJA
-------------	-----	------



VALVERDE DEL CAMINO

SAN JUAN DEL PUERTO

 GOBIERNO DE ESPAÑA	MINISTERIO DE FOMENTO	SECRETARÍA DE ESTADO DE INFRAESTRUCTURAS, TRANSPORTE Y VIVIENDA		EL ING. AUTOR DEL PROYECTO D. GUADALUPE DÍAZ ALONSO		CONFORME CONTRATISTA: 	TÍTULO DEL PROYECTO: PROYECTO MODIFICADO Nº 1 VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS EN LA CARRETERA N-435, del P.k. 203 al 221,5	FECHA AGOSTO 2016 CLAVE: 23H-3830	ESCALA 	DESIGNACIÓN DEL PLANO: PLANTA	Nº DE PLANO 3-1	HORA 14 DE 25
		SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS									DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS	NOMBRE DEL FICHERO DIGITAL: 3_1_PLANTA_GENERAL.DWG



Anejo 3. Ensayos geotécnicos **terraplén y desmonte**

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. N° de inscripción AND-L-047

Ciente: MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja -
Portal 1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

Consulte sus actas
en www.elabora.es

Muestra: 372
Albarán: 2856
Fecha de toma: 20/05/2016
Número Acta: 4589
Código: 9444
Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN N° 15 PK 8+840
Descripción: SUELO ESTABILIZADO

ENSAYO DE PLACA DE CARGA (NLT 357-98)

DIAMETRO DE LA PLACA: 300 mm

$E_{v1} = 24,02 \text{ MN/m}^2$

$E_{v2} = 67,50 \text{ MN/m}^2$

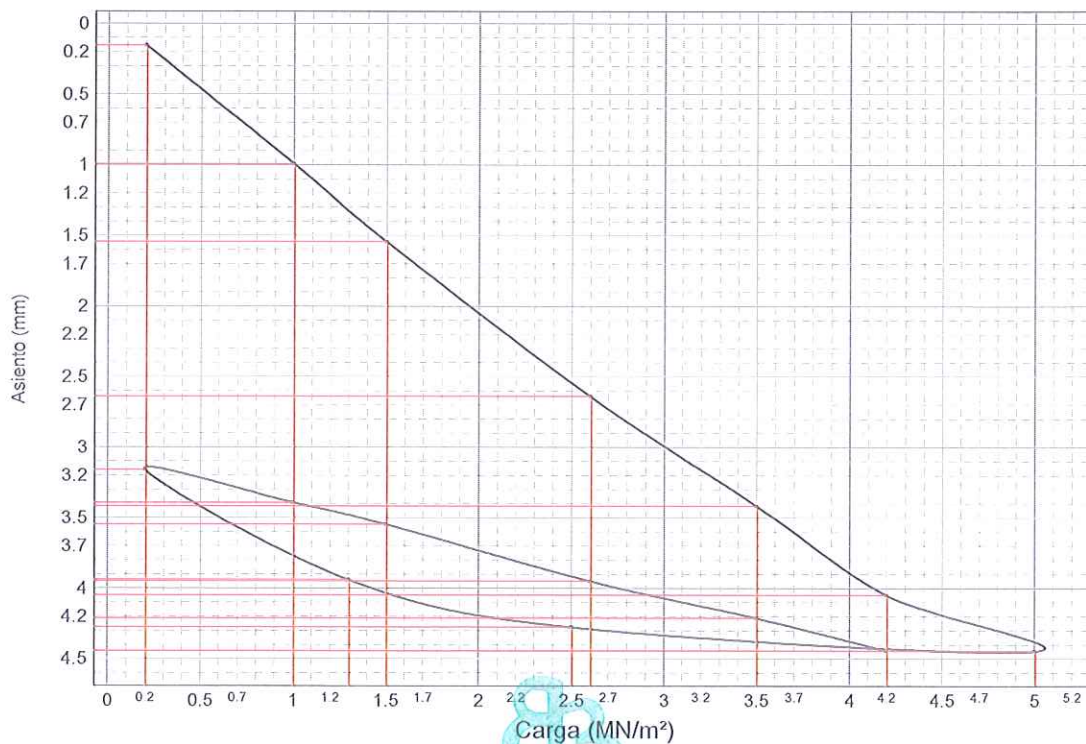
$E_{v2}/E_{v1} = 2,81$

$M_e = 320,28 \text{ MN/m}^2$

Observaciones:

Humedad bajo superficie ensayada: %

Humedad Proctor: %



Sevilla 20 de mayo de 2016

DIRECTOR TÉCNICO
José Luis Fernández Pérez
Geólogo

RESPONSABLE TÉCNICO DE ENSAYOS
Fernando Fernández Díaz
Químico

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. Nº de inscripción AND-L-190

Cliente: MINISTERIO DE FOMENTO

Muestra: 653
Albarán: 2957
Fecha de toma: 22/09/2016
Número Acta: 10192
Código: 9444

MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía
Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja - Portal
1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN Nº 15 PK 8+840
Descripción: SUELO ESTABILIZADO

ENSAYO DE PLACA DE CARGA (NLT 357:1998)

DIAMETRO DE LA PLACA: 300 mm

$E_{v1} = 61,93 \text{ MN/m}^2$

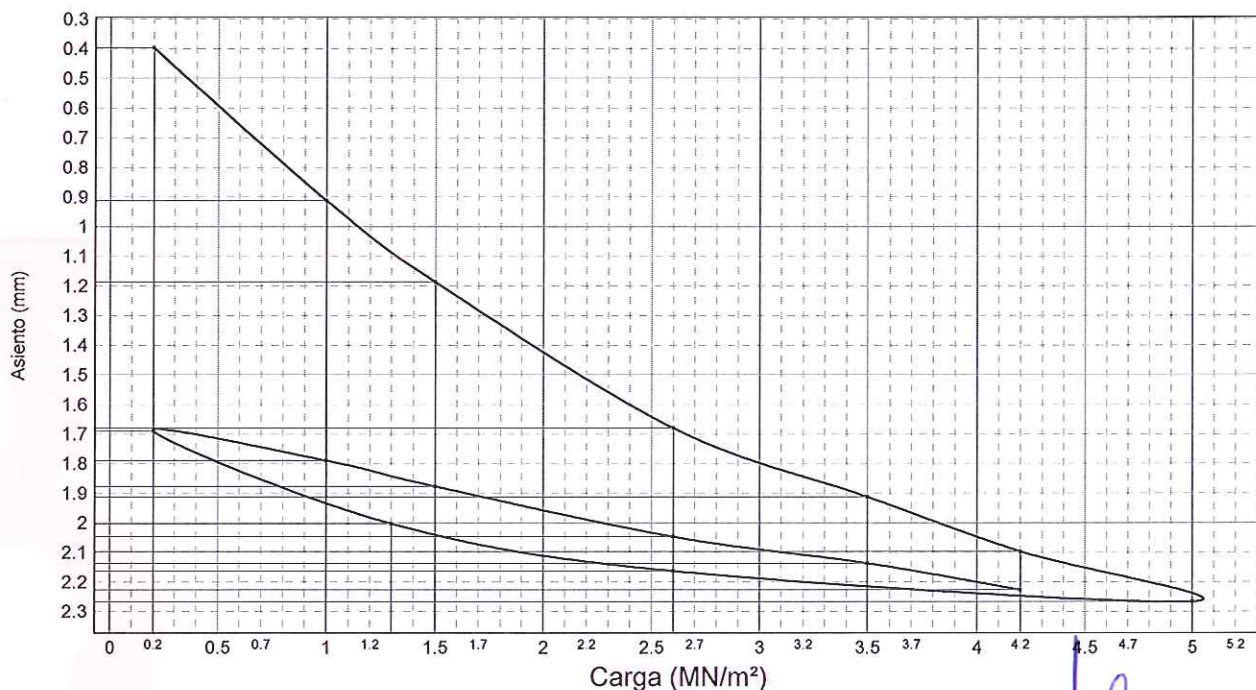
$E_{v2} = 173,08 \text{ MN/m}^2$

$E_{v2}/E_{v1} = 2,79$

$M_e = 825,69 \text{ MN/m}^2$

Observaciones:

Humedad bajo superficie ensayada: %
Humedad Proctor: %



Huelva 22 de septiembre de 2016

DIRECTOR DEL LABORATORIO
José Luis Fernández Pérez
Geólogo

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE SUELO

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. Nº de inscripción AND-L-190

Muestra: 327
Albarán: 2421
Fecha de toma: 21/06/2017
Número Acta: 6413
Código: 9444

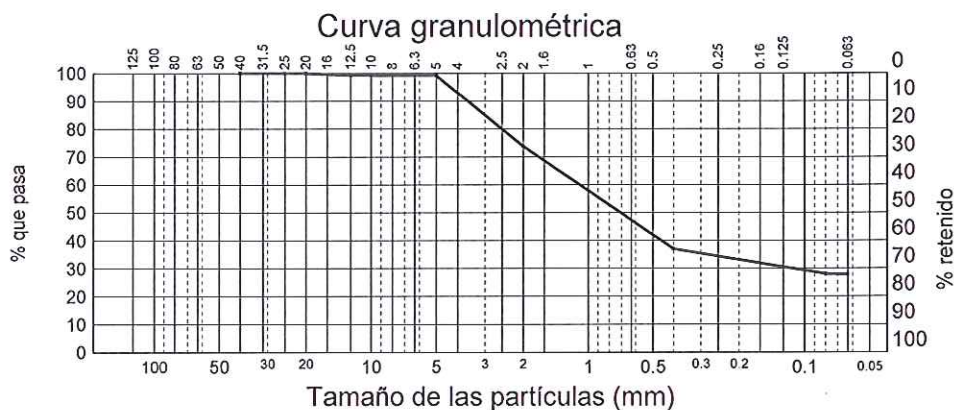
MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja - Portal 1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

Consulte sus actas en www.elabora.es

Cliente: MINISTERIO DE FOMENTO
Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN R-14 PK 8+420 CAPA 2ª
Descripción: SUELO ESTABILIZADO CON CAL (3,5%)

ANALISIS GRANULOMETRICO (UNE 103101:1995)

Tamiz (mm)	Pasa (%)
40	100
25	100
20	100
12,5	99
10	99
5	99
2	74
0,4	37
0,08	28
0,063	27,9



LIMITES DE ATTERBERG (UNE 103103:1994 y UNE 103104:1993) CLASIFICACION DEL SUELO (ASTM D2487:2010)

Límite líquido	No obtenible
Límite plástico	No plástico
Índice de plasticidad	No plástico

SM : Arena limosa

OTRAS DETERMINACIONES

Contenido en materia orgánica (UNE 103204:1993)	%	0,08
-------------------------------------------------	---	------

Huelva 26 de junio de 2017

DIRECTOR DEL LABORATORIO
José Luis Fernández Pérez
Geólogo

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. N° de inscripción AND-L-190

Cliente: MINISTERIO DE FOMENTO

Muestra: 327
Albarán: 2421
Fecha de toma: 21/06/2017
Número Acta: 6412
Código: 9444

MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja - Portal 1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

Consulte sus actas en www.elabora.es

Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN R-14 PK 8+420 CAPA 2ª
Descripción: SUELO ESTABILIZADO CON CAL (3,5%)

ENSAYO DE COLAPSO (NLT 254:1999)

Tensión (Kp/cm²)	Humedad Inicial (%)	Humedad Final (%)	Densidad Seca (gr/cm³)	Tipo de muestra
2.0	22,10	25,37	1,57	REMOLDEADA

Índice de colapso (%) 0,00

Potencial porcentual de colapso (%) 0,00

Compactación 100

Huelva 26 de junio de 2017

DIRECTOR DEL LABORATORIO
José Luis Fernández Pérez
Geólogo

elabora

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. Nº de inscripción AND-L-190

Cliente: MINISTERIO DE FOMENTO

Muestra: 327
Albarán: 2421
Fecha de toma: 21/06/2017
Número Acta: 6412
Código: 9444

MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja - Portal 1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

Consulte sus actas en www.elabora.es

Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN R-14 PK 8+420 CAPA 2ª
Descripción: SUELO ESTABILIZADO CON CAL (3,5%)

ENSAYO DE HINCHAMIENTO LIBRE (UNE 103601:1996)

Tensión (Kp/cm²)	Humedad Inicial (%)	Humedad Final (%)	Densidad Seca (gr/cm³)	Tipo de muestra
0.1	22,01	26,26	1,57	REMOLDEADA

Hinchamiento Libre (%) 0,00

Compactación 100

Huelva 26 de junio de 2017

DIRECTOR DEL LABORATORIO
José Luis Fernández Pérez
Geólogo

elabora

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE SUELO

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. Nº de inscripción AND-L-190

Cliente: MINISTERIO DE FOMENTO

Muestra: 327
Albarán: 2421
Fecha de toma: 21/06/2017
Número Acta: 6415
Código: 9444

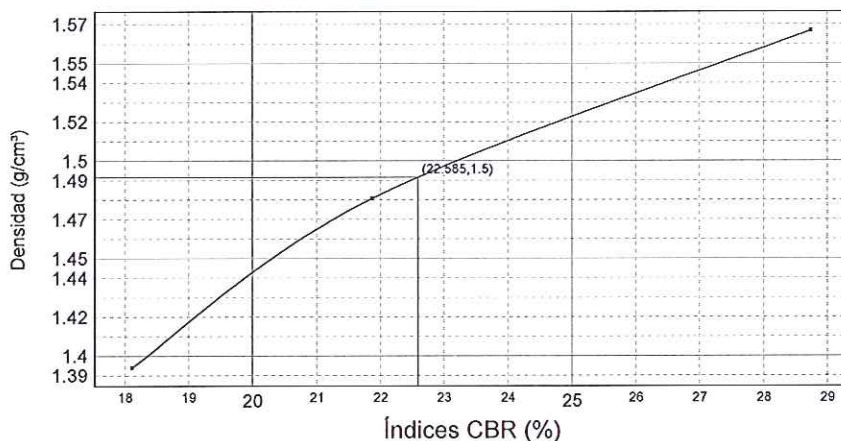
MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía
Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja - Portal
1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

Consulte sus actas
en www.elabora.es

Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN R-14 PK 8+420 CAPA 2ª
Descripción: SUELO ESTABILIZADO CON CAL (3,5%)

ÍNDICE C.B.R. EN LABORATORIO (UNE 103502:1995)

Gráfica Índice CBR/Densidad



Proctor de referencia:

PROCTOR NORMAL	
Densidad máxima	1,570 g/cm³
Humedad óptima	22,0 %
Compactación (95 %)	1,492 g/cm³

Índice de C.B.R.:

Índice CBR (95 %)	22,6
Hinchamiento (95 %)	-0,09 %
Absorción (95 %)	2,06 %
Humedad (95 %)	22,5 %

	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
Energía compactación	25% (15 golpes)	50% (30 golpes)	100% (60 golpes)
Densidad	1,394 g/cm³	1,481 g/cm³	1,567 g/cm³
Humedad	22,5 %	22,5 %	22,5 %
Absorción	2,26 %	2,10 %	1,76 %
Hinchamiento	-0,18 %	-0,10 %	0,00 %
Índice C.B.R.	18,1	21,9	28,8

Condiciones de ensayo:

Norma: UNE 103,502-1995	Material retenido tamiz 20 mm.: 0,00 %	Sobrecarga utilizada: 27,0 kg.	Se ha efectuado sustitución de material: No
-------------------------	----------------------------------------	--------------------------------	---------------------------------------------

Huelva 26 de junio de 2017

DIRECTOR DEL LABORATORIO
José Luis Fernández Pérez
Geólogo

elabora

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE SUELO

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. N° de inscripción AND-L-190

Cliente: MINISTERIO DE FOMENTO

Muestra: 327
Albarán: 2421
Fecha de toma: 21/06/2017
Número Acta: 6416
Código: 9444

MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja - Portal 1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

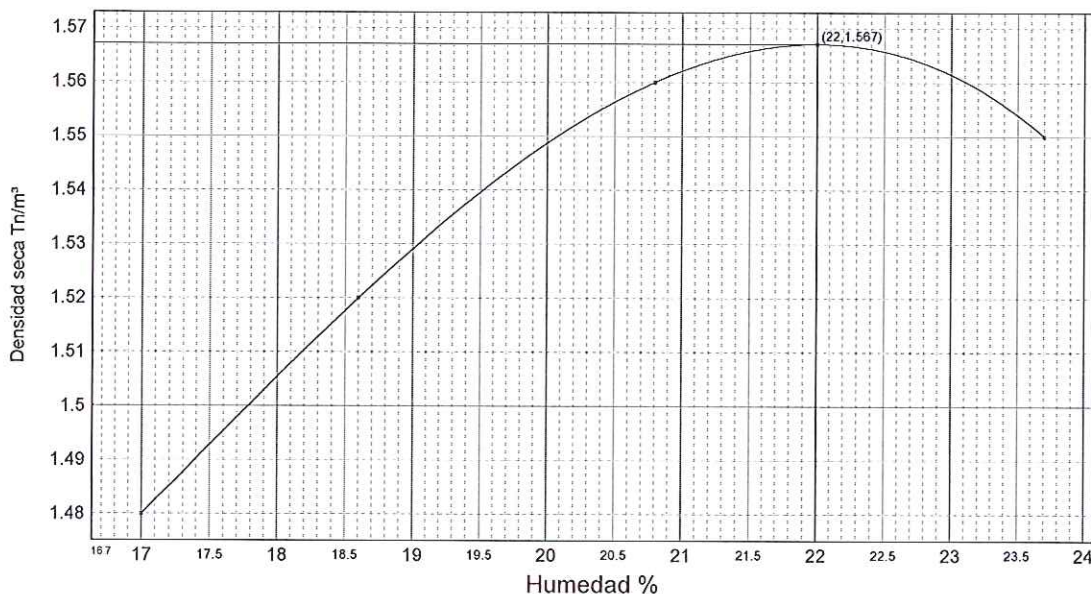
Consulte sus actas en www.elabora.es

Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN R-14 PK 8+420 CAPA 2ª
Descripción: SUELO ESTABILIZADO CON CAL (3,5%)

ENSAYO PROCTOR NORMAL (UNE 103500:1994)

Densidad máxima 1,57 Tn/m³

Humedad óptima 22,0 %



Huelva 26 de junio de 2017

DIRECTOR DEL LABORATORIO
José Luis Fernández Pérez

Geólogo

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE SUELO

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. Nº de inscripción AND-L-190

Cliente: MINISTERIO DE FOMENTO

Muestra: 327
Albarán: 2421
Fecha de toma: 21/06/2017
Número Acta: 6414
Código: 9444

MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja - Portal 1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

Consulte sus actas
en www.elabora.es

Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN R-14 PK 8+420 CAPA 2ª
Descripción: SUELO ESTABILIZADO CON CAL (3,5%)

OTRAS DETERMINACIONES QUÍMICAS

Contenido en sales solubles (NLT 114:1999)	%	0,15
--------------------------------------------	---	------

Huelva 26 de junio de 2017

DIRECTOR DEL LABORATORIO
José Luis Fernández Pérez
Geólogo



ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. Nº de inscripción AND-L-190

Cliente: MINISTERIO DE FOMENTO

Muestra: 329
Albarán: 1668
Fecha de toma: 26/06/2017
Número Acta: 6417
Código: 9444

MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja - Portal 1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

Consulte sus actas en www.elabora.es

Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN Nº 15 PK 8+840
Descripción: SUELO ESTABILIZADO CON CAL

ENSAYO DE PLACA DE CARGA (NLT 357:1998)

DIAMETRO DE LA PLACA: 300 mm

$E_{v1} = 58,19 \text{ MN/m}^2$

$E_{v2} = 122,73 \text{ MN/m}^2$

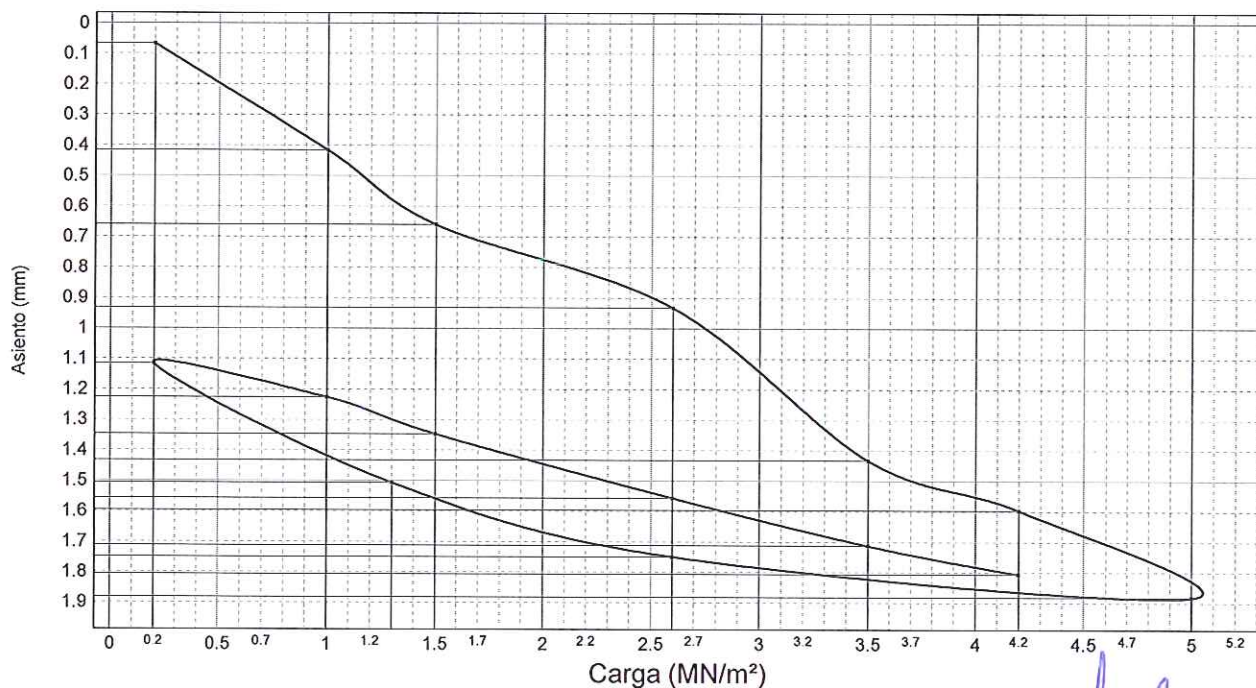
$E_{v2}/E_{v1} = 2,11$

$M_e = 775,86 \text{ MN/m}^2$

Observaciones:

Humedad bajo superficie ensayada: %

Humedad Proctor: %



Huelva 26 de junio de 2017

DIRECTOR DEL LABORATORIO
José Luis Fernández Pérez
Geólogo



Pág. 1 de 1

Mod. 130

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. N° de inscripción AND-L-190

Cliente: MINISTERIO DE FOMENTO

Muestra: 366
Albarán: 1674
Fecha de toma: 05/07/2017
Número Acta: 7035
Código: 9444

MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja - Portal 1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

Consulte sus actas en www.elabora.es

Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN N° 14 PK 8+530 (CORONACIÓN)
Descripción: SUELO RIPADO PROCEDE DE DESMONTE 6

ENSAYO DE PLACA DE CARGA (NLT 357:1998)

DIAMETRO DE LA PLACA: 300 mm

$E_{v1} = 69,23 \text{ MN/m}^2$

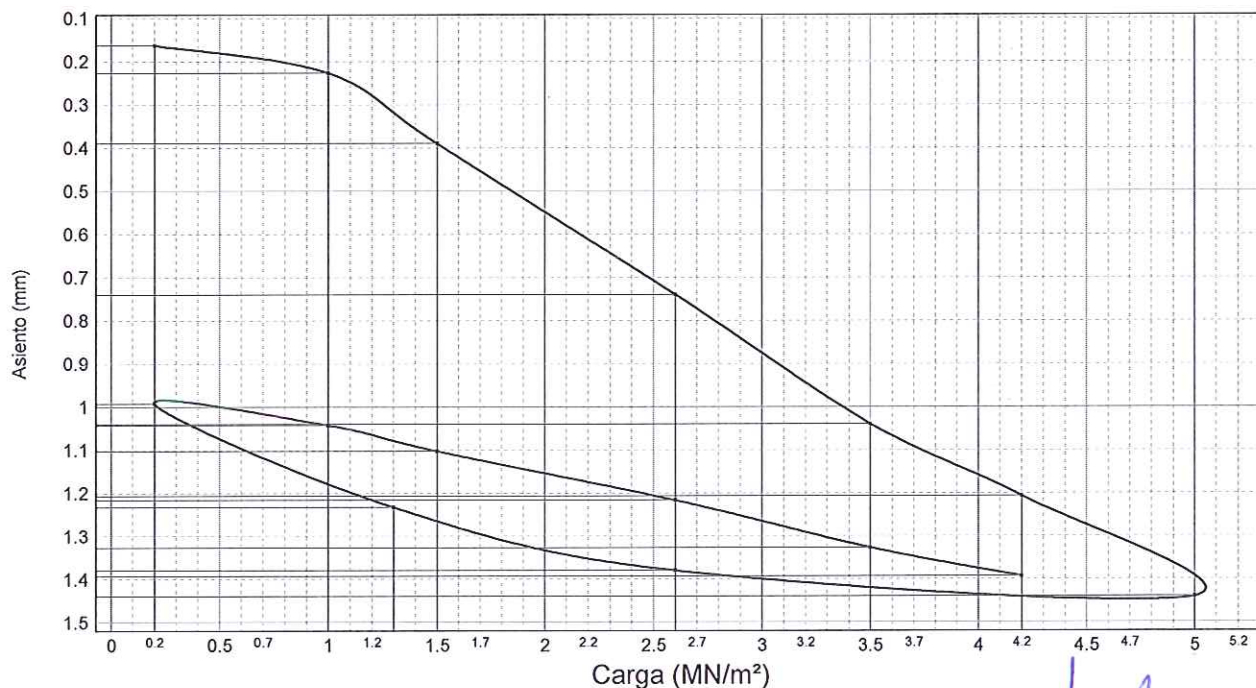
$E_{v2} = 201,49 \text{ MN/m}^2$

$E_{v2}/E_{v1} = 2,91$

$M_e = 923,08 \text{ MN/m}^2$

Observaciones:

Humedad bajo superficie ensayada: %
Humedad Proctor: %



Huelva 5 de julio de 2017

DIRECTOR DEL LABORATORIO
José Luis Fernández Pérez
Geólogo

elabora

Pág. 1 de 1

Mod. 130

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE SUELO

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. Nº de inscripción AND-L-190

Cliente: MINISTERIO DE FOMENTO

Muestra: 369
Albarán: 580
Fecha de toma: 05/07/2017
Número Acta: 7038
Código: 9444

MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja - Portal 1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

Consulte sus actas en www.elabora.es

Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN Nº 15
Descripción: SUELO CAL

DENSIDAD Y HUMEDAD IN SITU (ASTM D 2922-05, ASTM D 3017-05, ASTM D 6938-10)

Nº	LOCALIZACIÓN	Tongada Capa	DATOS DE CAMPO			
			Profundidad cm.	Humedad %	Densidad t/m³	Compactación %
1	8+820	CORONACIÓN	10	11,0	1,74	110
2	8+870	CORONACIÓN	10	11,4	1,61	101
3	9+320	CORONACIÓN	10	11,9	1,60	101
4	9+360	CORONACIÓN	10	12,1	1,65	104
5	9+400	CORONACIÓN	10	11,7	1,58	100
Valores medios (5 puntos)				11,6	1,64	103

PROCTOR NORMAL DE REF. M-250	
Densidad máxima	1,59 t/m³
Humedad óptima	23,4 %

Operador: Eugenio Santos Romero

Huelva 5 de julio de 2017

DIRECTOR DEL LABORATORIO
José Luis Fernández Pérez
Geólogo

Pág. 1 de 1

Mod. 100

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. Nº de inscripción AND-L-190

Cliente: MINISTERIO DE FOMENTO

Muestra: 377
Albarán: 1675
Fecha de toma: 10/07/2017
Número Acta: 7044
Código: 9444

MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja - Portal 1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

Consulte sus actas en www.elabora.es

Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN Nº 14 PK 8+600
Descripción: SUELO ADECUADO

ENSAYO DE PLACA DE CARGA (NLT 357:1998)

DIAMETRO DE LA PLACA: 300 mm

$E_{v1} = 55,33 \text{ MN/m}^2$

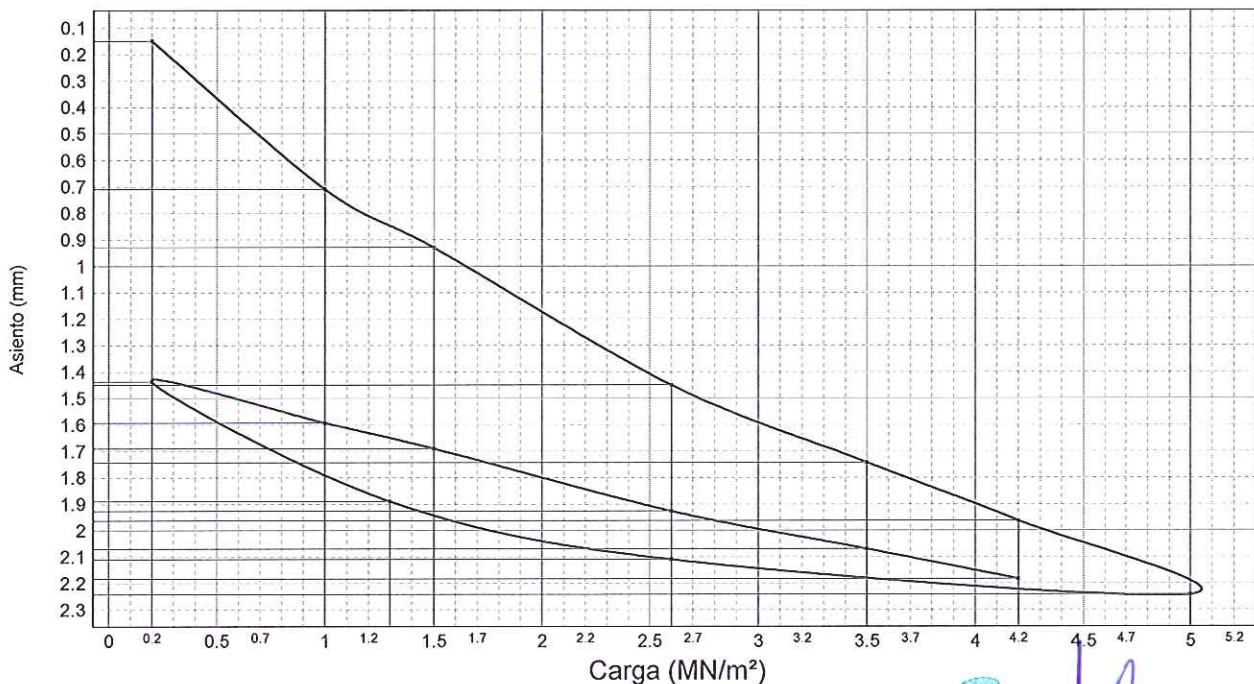
$E_{v2} = 118,42 \text{ MN/m}^2$

$E_{v2}/E_{v1} = 2,14$

$M_e = 737,70 \text{ MN/m}^2$

Observaciones:

Humedad bajo superficie ensayada: %
Humedad Proctor: %



Huelva 10 de julio de 2017

DIRECTOR DEL LABORATORIO
José Luis Fernández Pérez
Geólogo

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE SUELO

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. N° de inscripción AND-L-190

Cliente: MINISTERIO DE FOMENTO

Muestra: 376
Albarán: 583
Fecha de toma: 10/07/2017
Número Acta: 7046
Código: 9444

MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía
Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja - Portal
1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN N° 14 (TRAMO PRUEBA TONGADA 40 cm)
Descripción: SUELO ADECUADO

DENSIDAD Y HUMEDAD IN SITU (ASTM D 2922-05, ASTM D 3017-05, ASTM D 6938-10)

Nº	LOCALIZACIÓN	Tongada Capa	DATOS DE CAMPO			
			Profundidad cm.	Humedad %	Densidad t/m³	Compactación %
1	8+700 EJE	CORONACIÓN	15	5,0	2,12	97
2	8+660 MI	CORONACIÓN	15	7,1	2,20	101
3	8+600 MD	CORONACIÓN	15	5,0	2,17	100
4	8+560 EJE	CORONACIÓN	15	7,0	2,18	100
5	8+520 MI	CORONACIÓN	15	6,3	2,13	97
Valores medios (5 puntos)				6,1	2,16	99

PROCTOR MODIFICADO DE REF. M-330-331	
Densidad máxima	2,18 t/m³
Humedad óptima	7,2 %

Operador: Victor Villamarín Casal

Huelva 10 de julio de 2017

DIRECTOR DEL LABORATORIO
José Luis Fernández Pérez
Geólogo

elabora

Pág. 1 de 1

Mod. 100

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE SUELO

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. N° de inscripción AND-L-190

Cliente: MINISTERIO DE FOMENTO

Muestra: 412
Albarán: 3605
Fecha de toma: 20/07/2017
Número Acta: 7698
Código: 9444

MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja - Portal 1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

Consulte sus actas
en www.elabora.es

Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN 15 (PK 8+840-8+850) CORONACIÓN
Descripción: MATERIAL DE RIPADO

DENSIDAD Y HUMEDAD IN SITU (ASTM D 2922-05, ASTM D 3017-05, ASTM D 6938-10)

Nº	LOCALIZACIÓN	Tongada Capa	DATOS DE CAMPO			
			Profundidad cm.	Humedad %	Densidad t/m³	Compactación %
1	8+840 C	CORONACIÓN	20	7,0	2,08	98
2	8+870 MI	CORONACIÓN	20	6,3	2,02	95
3	8+850 MD	CORONACIÓN	20	6,2	2,12	99
Valores medios (3 puntos)				6,5	2,07	97

PROCTOR MODIFICADO DE REF. CODEXSA	
Densidad máxima	2,13 t/m³
Humedad óptima	----

Operador: José Luis Fernández Pérez

Huelva 20 de julio de 2017

DIRECTOR DEL LABORATORIO
José Luis Fernández Pérez
Geólogo



ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. N° de inscripción AND-L-190

Cliente: MINISTERIO DE FOMENTO

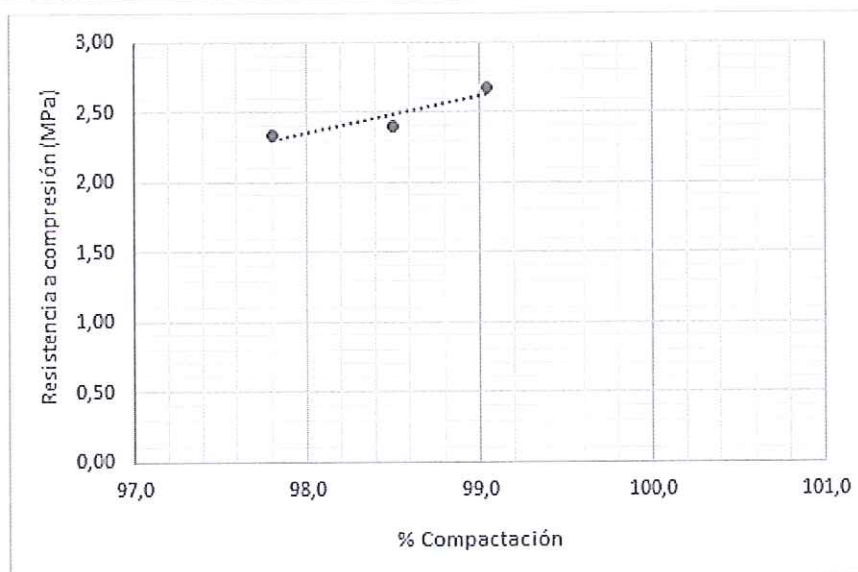
Muestra: 778
Albarán: 2231
Fecha de toma: 12/12/2017
Número Acta: 15004
Código: 9444

MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja - Portal 1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

Consulte sus actas en www.elabora.es

Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN N° 14 PK 8+680 CALLE 3
Descripción: SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO 4% (0-80 mm)

RESISTENCIA A COMPRESIÓN (UNE EN 13286-41:2003)			
COMPACTACIÓN DE LAS PROBETAS (UNE EN 13286-51:2003)			
Probeta (Referencia: M-778 AL 4%)	1	2	3
Fecha de fabricación	12/12/2017		
Densidad (g/cm3)	2,01	2,03	2,04
Humedad (%)	11,0	11,6	10,7
Densidad máxima proctor modificado (g/cm³)	2,06		
Humedad optima proctor modificado (%)	10,5		
Compactación (%)	97,8	98,5	99,0
Edad de rotura (días)	7	7	7
Carga (kN)	41,3	42,5	47,2
Resistencia a compresión (MPa)	2,34	2,41	2,67
Resistencia a compresión media (MPa)	2,47		
Probetas cilíndricas de diámetro 150 mm			



Huelva 19 de diciembre de 2017

DIRECTOR DEL LABORATORIO
José Luis Fernández Pérez
Geólogo

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS

Registro de Laboratorios de Ensayos. Junta de Andalucía. Nº de inscripción AND-L-190

Cliente: MINISTERIO DE FOMENTO

Muestra: 37
Albarán: 1072
Fecha de toma: 26/01/2018
Número Acta: 1588
Código: 9444

MINISTERIO DE FOMENTO
Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental
Avda. Américo Vespucio, 5 ; Edificio La Cartuja - Portal 1 Planta 1ª
41071-SEVILLA

Consulte sus actas en www.elabora.es

Obra: VARIANTE DE LAS POBLACIONES DE BEAS Y TRIGUEROS
CARRETERA N-435, PK 205.8 AL PK 218.8. CONTRATO ZY4-C000019
Localidad: BEAS
Procedencia: TERRAPLÉN Nº 15 OK 8+850 MD
Descripción: SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO 4%

ENSAYO DE PLACA DE CARGA (NLT 357:1998)

DIAMETRO DE LA PLACA: 300 mm

$E_{v1} = 281,25 \text{ MN/m}^2$

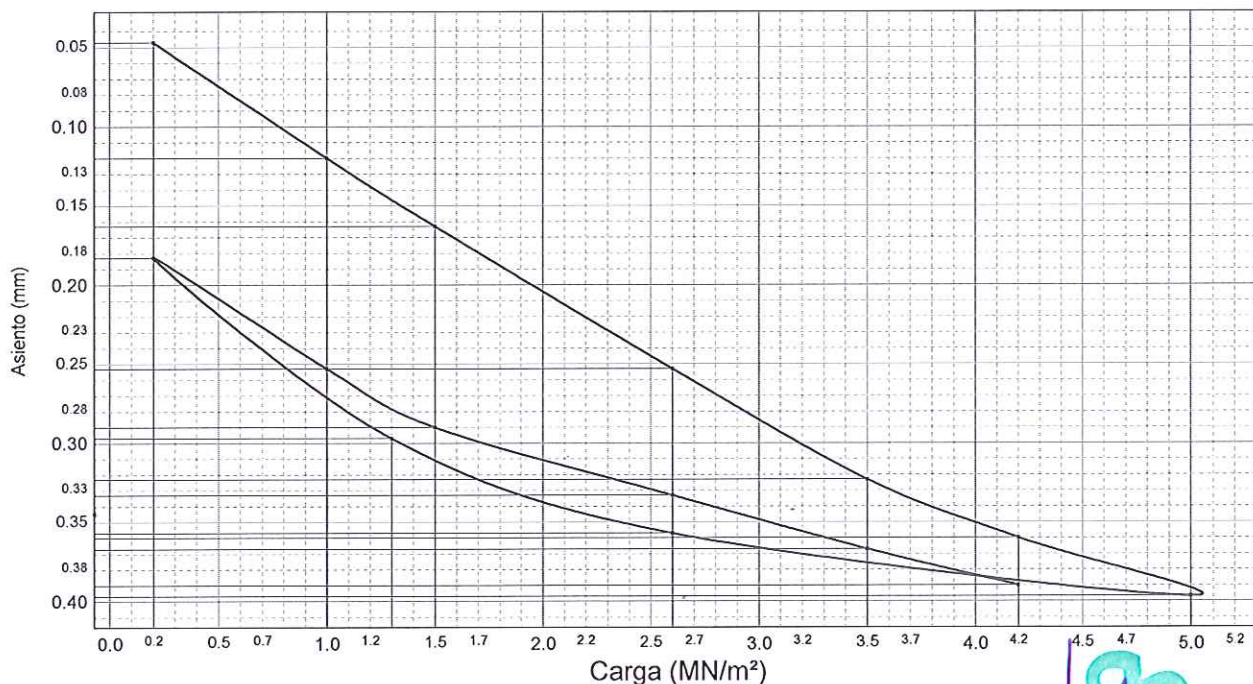
$E_{v2} = 586,96 \text{ MN/m}^2$

$E_{v2}/E_{v1} = 2,09$

$M_e = 3750,00 \text{ MN/m}^2$

Observaciones:

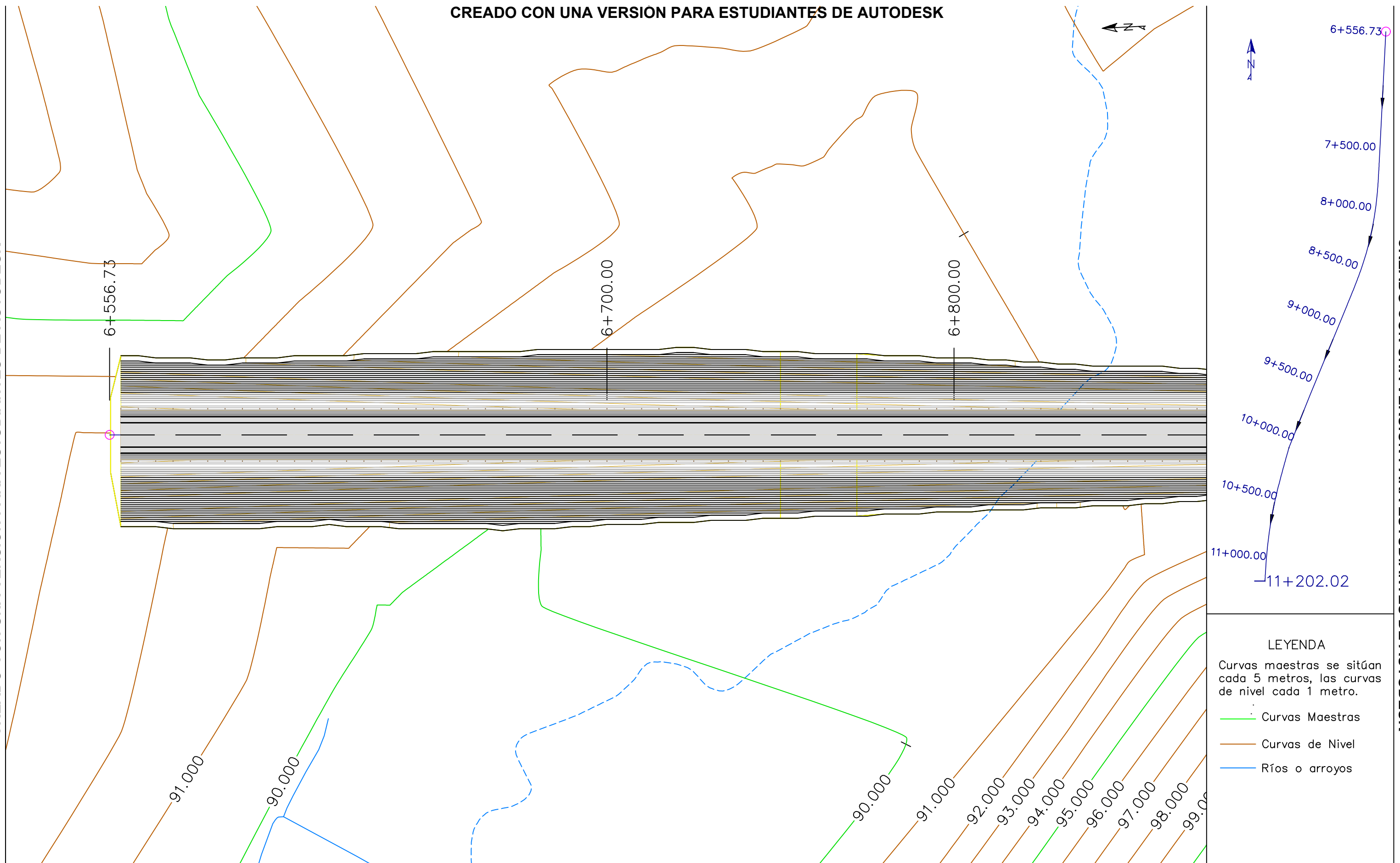
Humedad bajo superficie ensayada: %
Humedad Proctor: %



Huelva 26 de enero de 2018

DIRECTOR DEL LABORATORIO
José Luis Fernández Pérez
Geólogo

Anejo 4. Planos Modelo Civil 3D



LEYENDA

Curvas maestras se sitúan cada 5 metros, las curvas de nivel cada 1 metro.

Curvas Maestras

— Curvas de Nivel

— Ríos o arroyos



Autor: JAVIER MONAR GONZÁLEZ
Tutor: BLAS GONZÁLEZ GONZÁLEZ

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Grado Ingeniería Civil

TRABAJO DE FIN DE GRADO

PROYECTO:

MODELADO BIM PARA INFRAESTRUCTURAS LINEALES

ESCALA/FORMATO

1:1000

A3

Título del plano:

Planta General Variante

Subtítulo del plano:

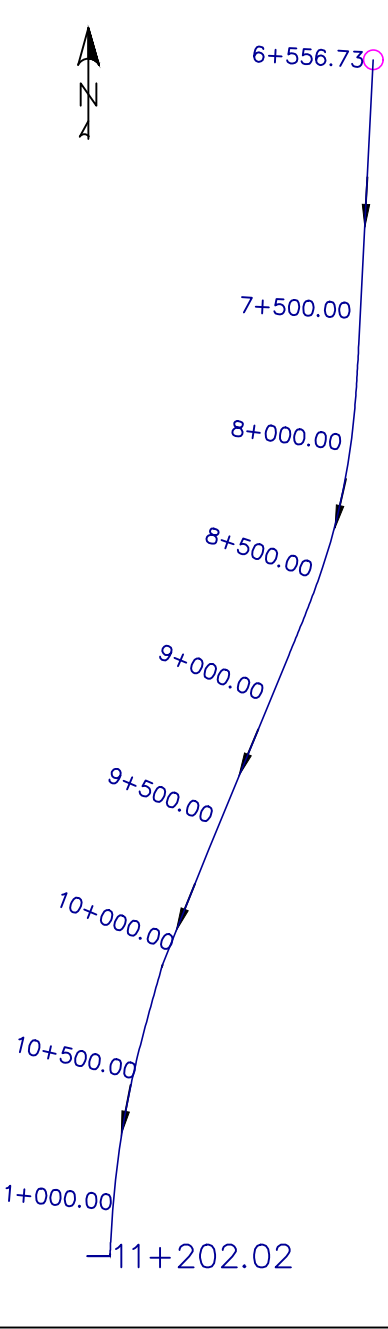
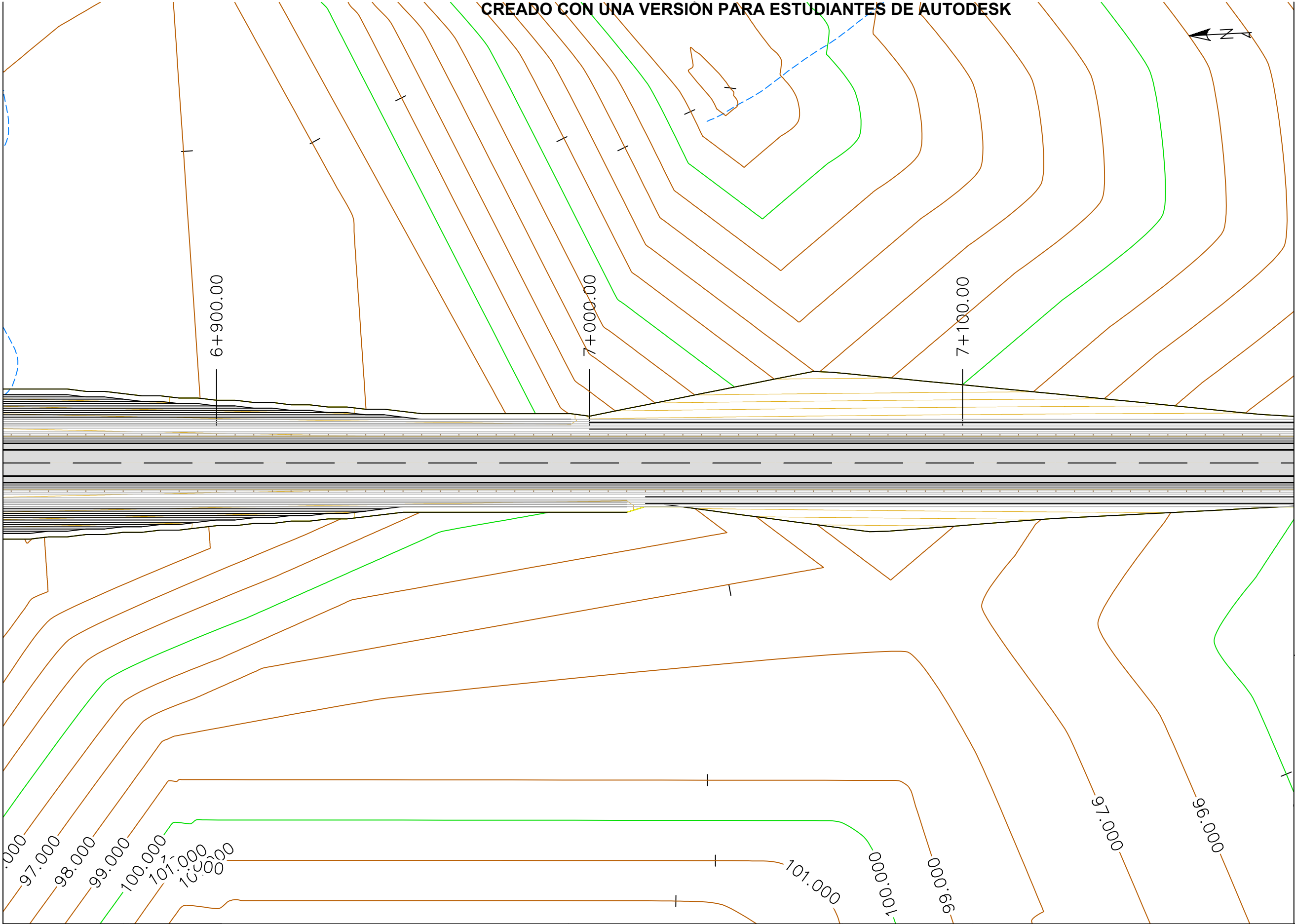
P.K 6+550 A P.K 6+860

Nº de plano:

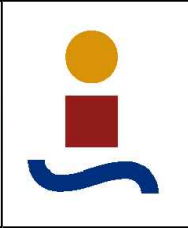
1

Nº de Hoja:

1 de 14



LEYENDA	
Curvas maestras se sitúan cada 5 metros, las curvas de nivel cada 1 metro.	
	Curvas Maestras
	Curvas de Nivel
	Ríos o arroyos



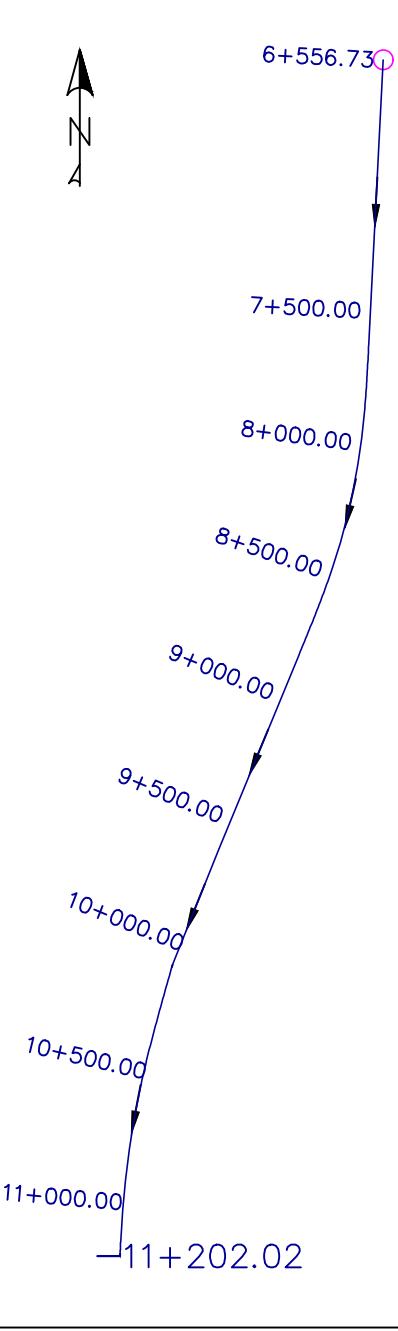
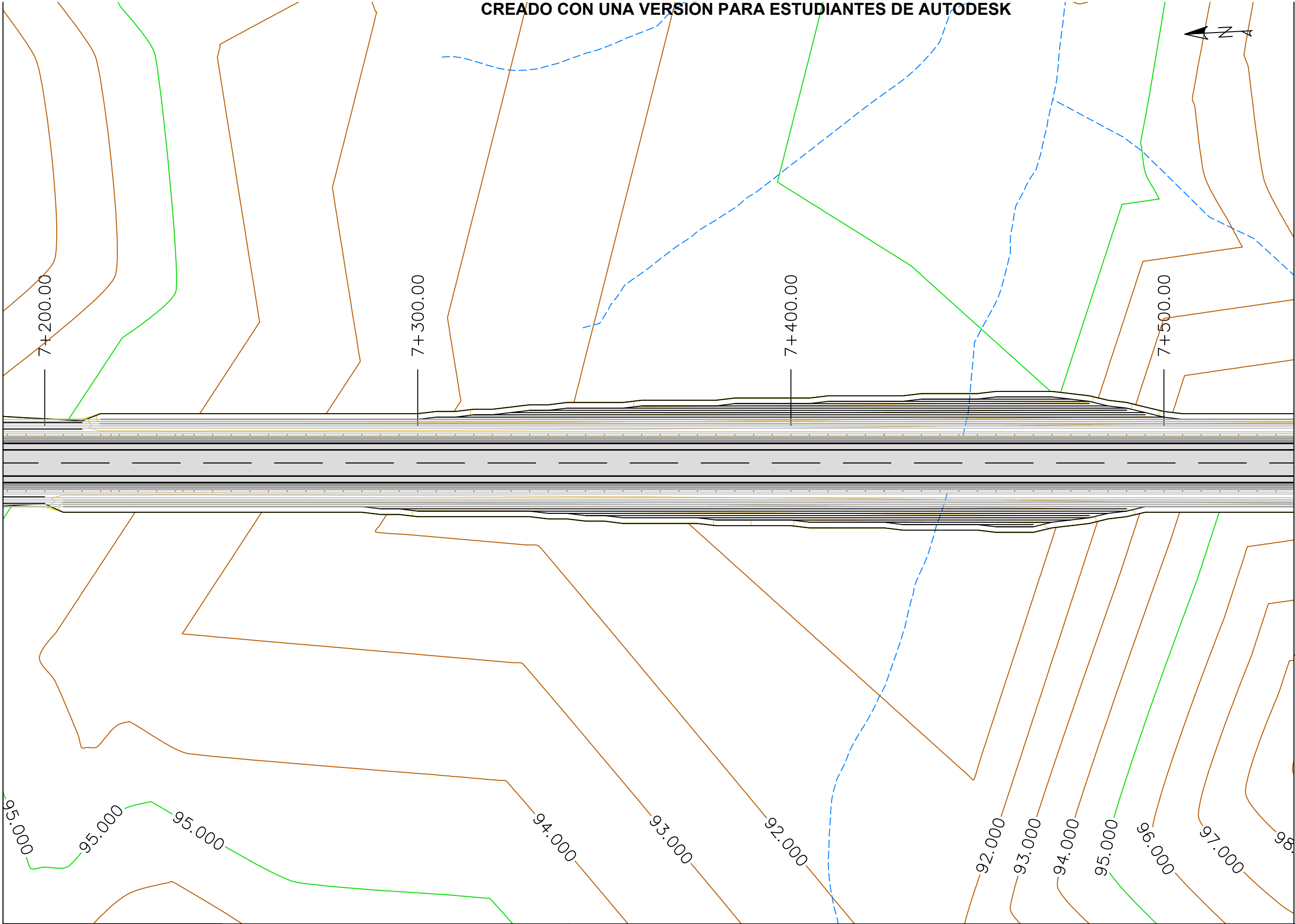
Autor: JAVIER MONAR GONZÁLEZ
Tutor: BLAS GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Grado Ingeniería Civil

TRABAJO DE FIN DE GRADO
PROYECTO:
MODELADO BIM PARA
INFRAESTRUCTURAS LINEALES

ESCALA/FORMATO
1:1000
A3

Título del plano:
Planta General Variante
Subtítulo del plano:
P.K 6+860 a P.K 7+190

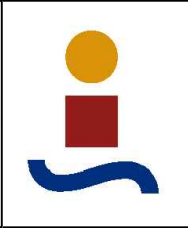
Nº de plano:
2
Nº de Hoja:
2 de 14



LEYENDA

Curvas maestras se sitúan cada 5 metros, las curvas de nivel cada 1 metro.

- Curvas Maestras
- Curvas de Nivel
- Ríos o arroyos



Autor: JAVIER MONAR GONZÁLEZ
Tutor: BLAS GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Grado Ingeniería Civil

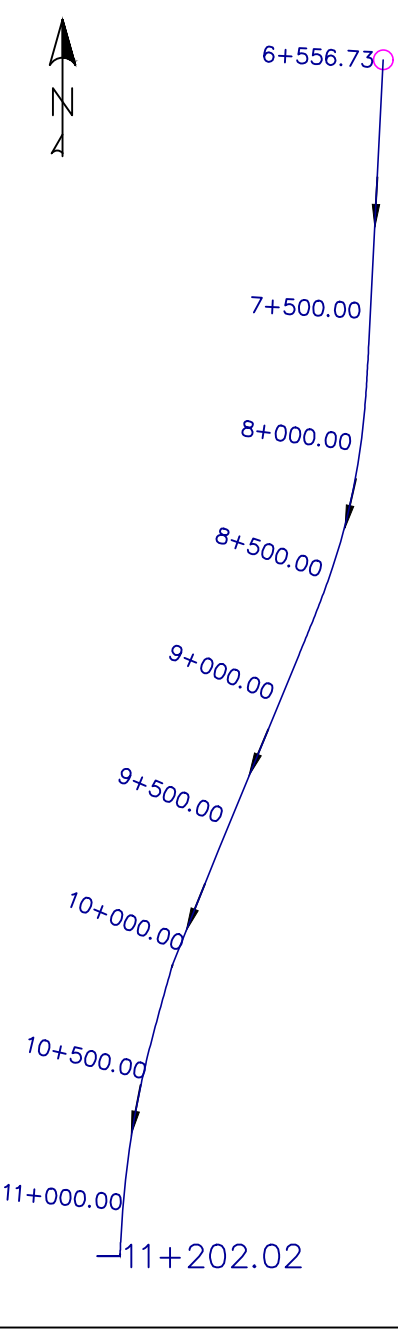
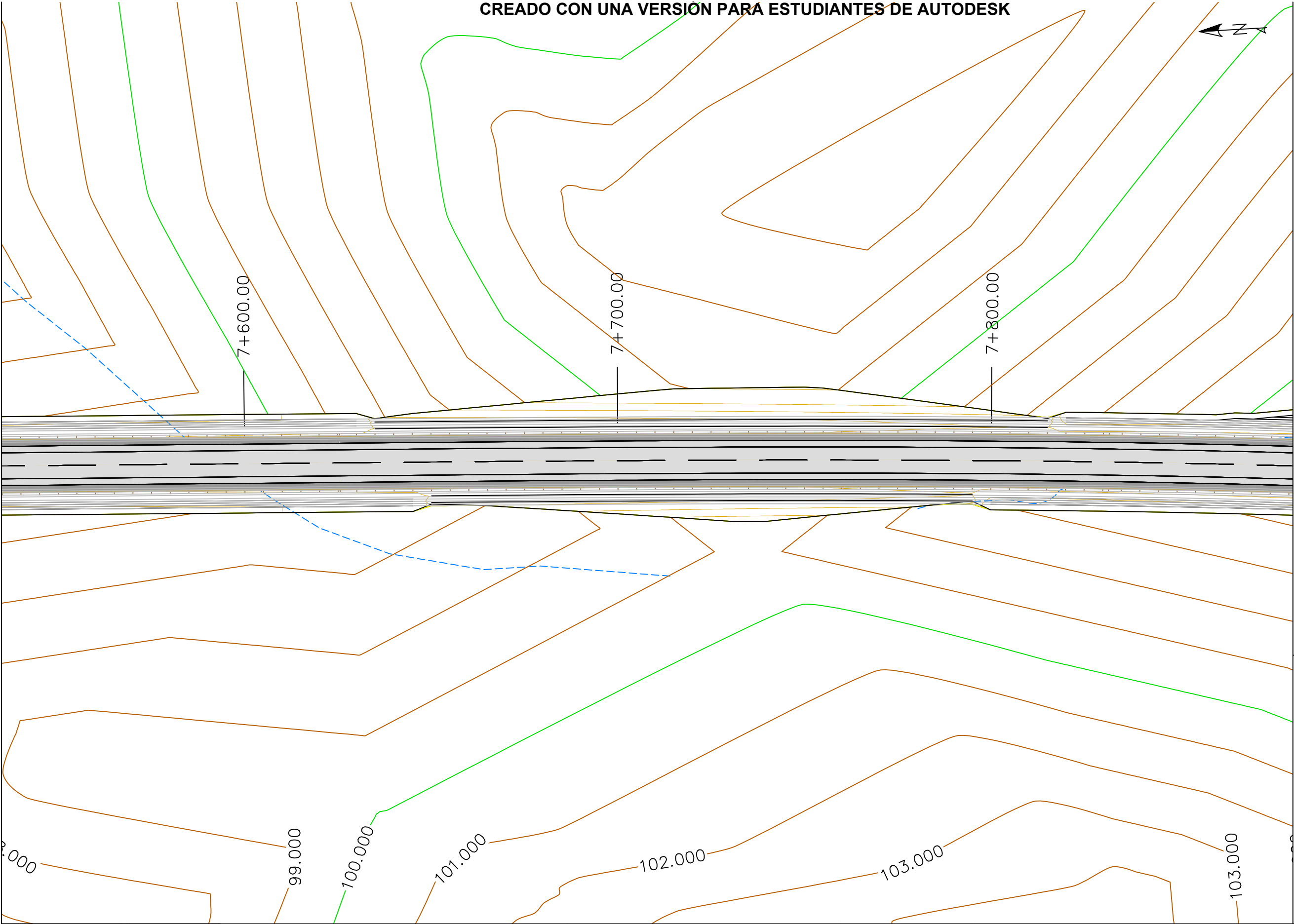
TRABAJO DE FIN DE GRADO
PROYECTO:
MODELADO BIM PARA
INFRAESTRUCTURAS LINEALES

ESCALA/FORMATO
1:1000
A3

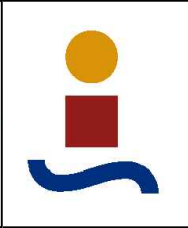
Título del plano:
Planta General de la Variante
Subtítulo del plano:
P.K 7+190 a P.K 7+530

Nº de plano:
3
Nº de Hoja:
3 de 14

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK



LEYENDA	
Curvas maestras se sitúan cada 5 metros, las curvas de nivel cada 1 metro.	
	Curvas Maestras
	Curvas de Nivel
	Ríos o arroyos



Autor: JAVIER MONAR GONZÁLEZ
Tutor: BLAS GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Grado Ingeniería Civil

TRABAJO DE FIN DE GRADO
PROYECTO:
MODELADO BIM PARA
INFRAESTRUCTURAS LINEALES

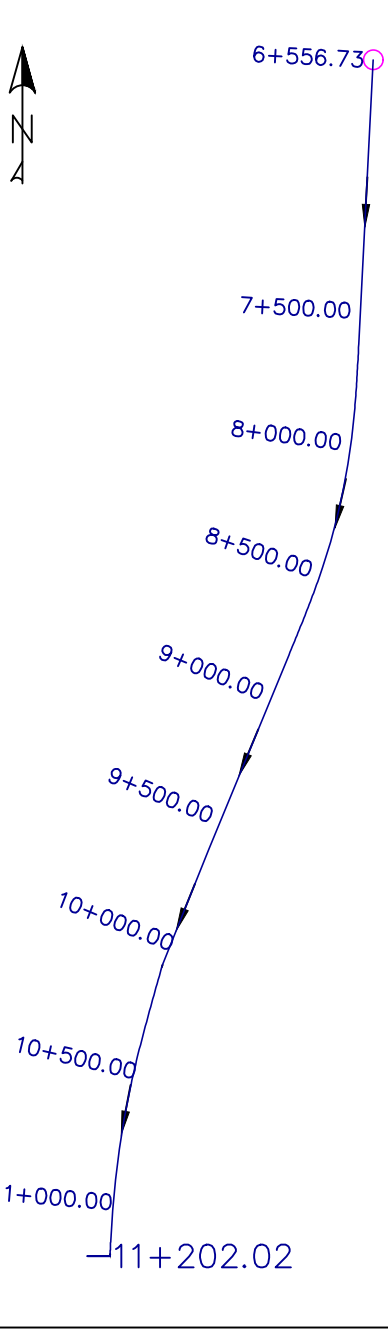
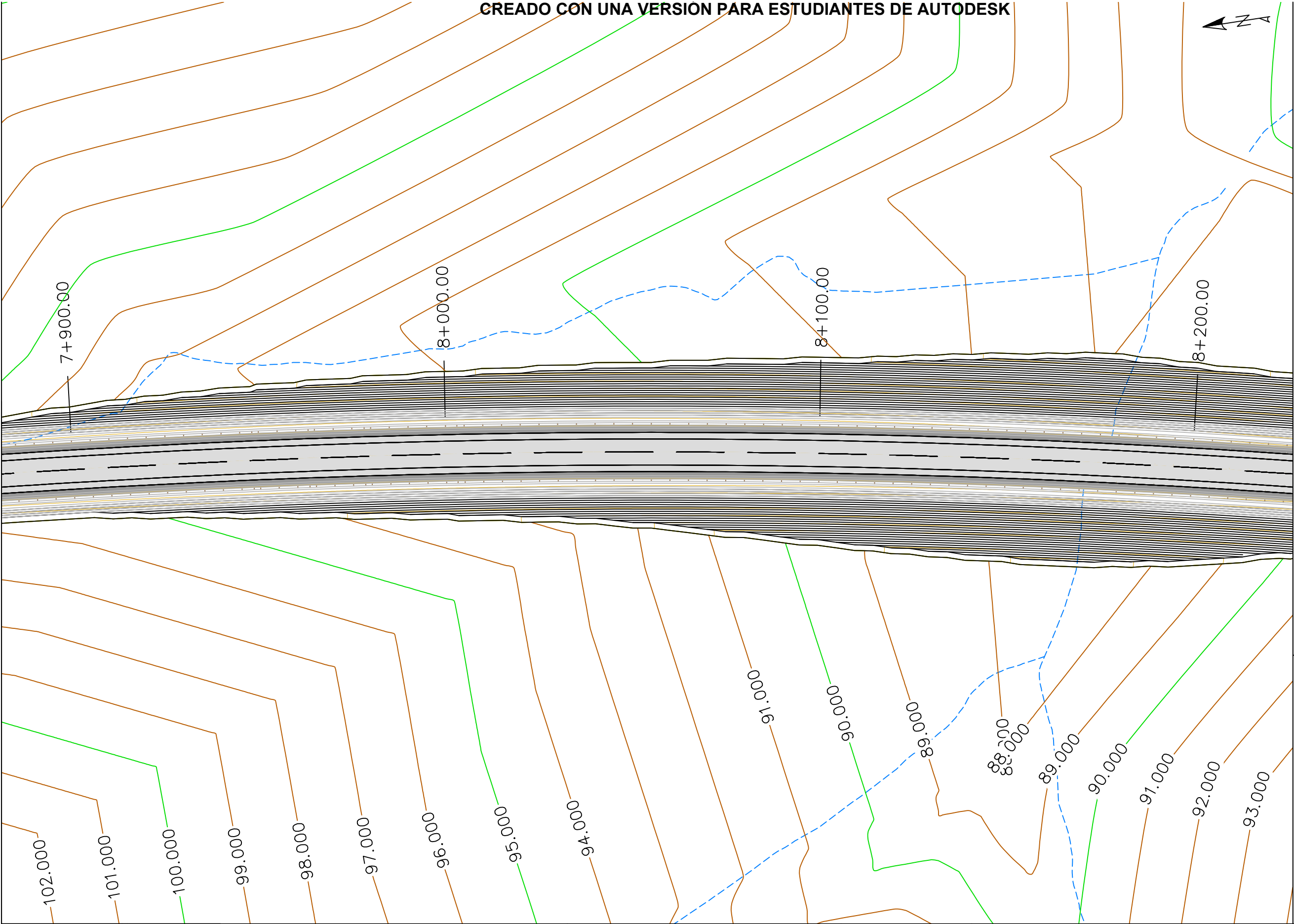
ESCALA/FORMATO
1:1000
A3

Título del plano:
Planta General de la Variante
Subtítulo del plano:
P.K 7+530 a P.K 7+850

Nº de plano:
4
Nº de Hoja:
4 de 14

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

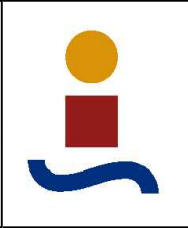
CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK



LEYENDA

Curvas maestras se sitúan cada 5 metros, las curvas de nivel cada 1 metro.

- Curvas Maestras
- Curvas de Nivel
- Ríos o arroyos



Autor: JAVIER MONAR GONZÁLEZ
Tutor: BLAS GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Grado Ingeniería Civil

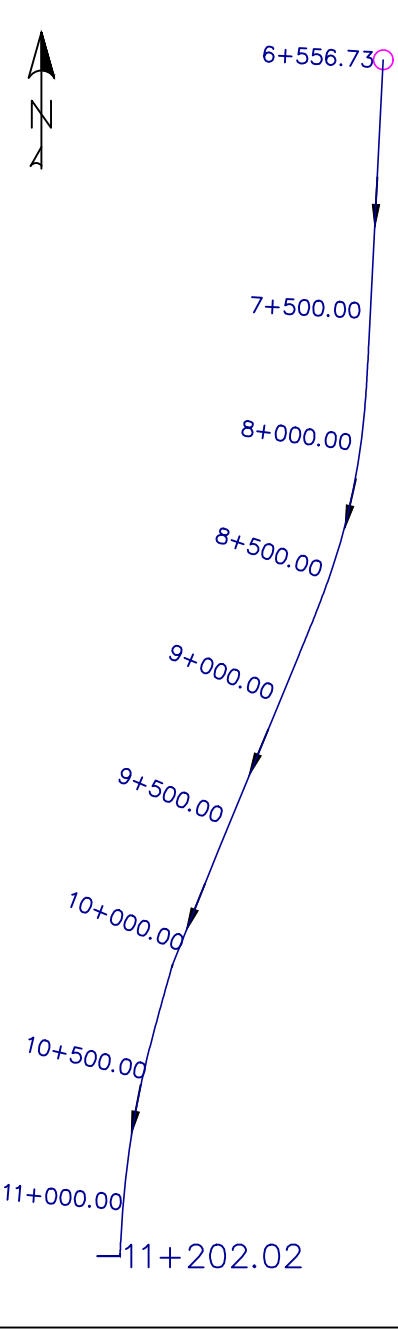
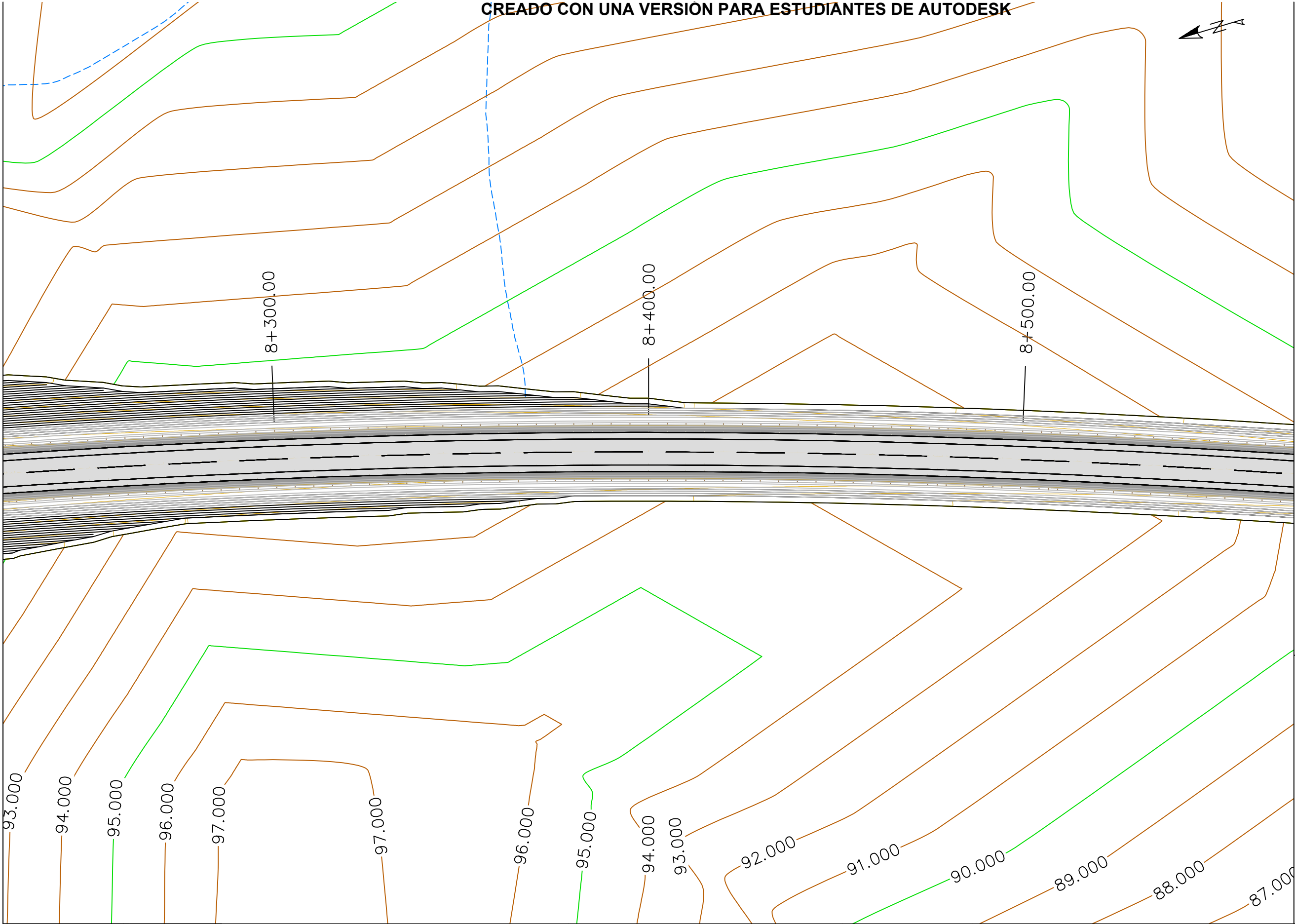
TRABAJO DE FIN DE GRADO
PROYECTO:
MODELADO BIM PARA
INFRAESTRUCTURAS LINEALES

ESCALA/FORMATO
1:1000
A3

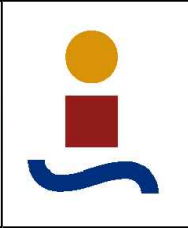
Título del plano:
Planta General de la Variante
Subtítulo del plano:
P.K 7+850 a P.K 8+230

Nº de plano:
5
Nº de Hoja:
5 de 14

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK



LEYENDA	
Curvas maestras se sitúan cada 5 metros, las curvas de nivel cada 1 metro.	
	Curvas Maestras
	Curvas de Nivel
	Ríos o arroyos



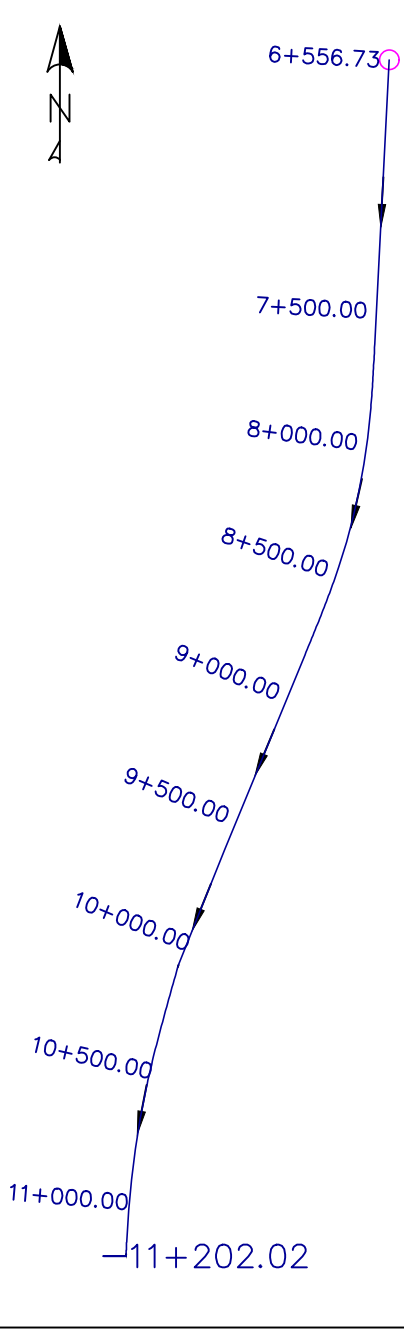
Autor: JAVIER MONAR GONZÁLEZ
Tutor: BLAS GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Grado Ingeniería Civil

TRABAJO DE FIN DE GRADO
PROYECTO:
MODELADO BIM PARA
INFRAESTRUCTURAS LINEALES

ESCALA/FORMATO
1:1000
A3

Título del plano:
Planta General de la Variante
Subtítulo del plano:
P.K 8+230 a P.K 8+580

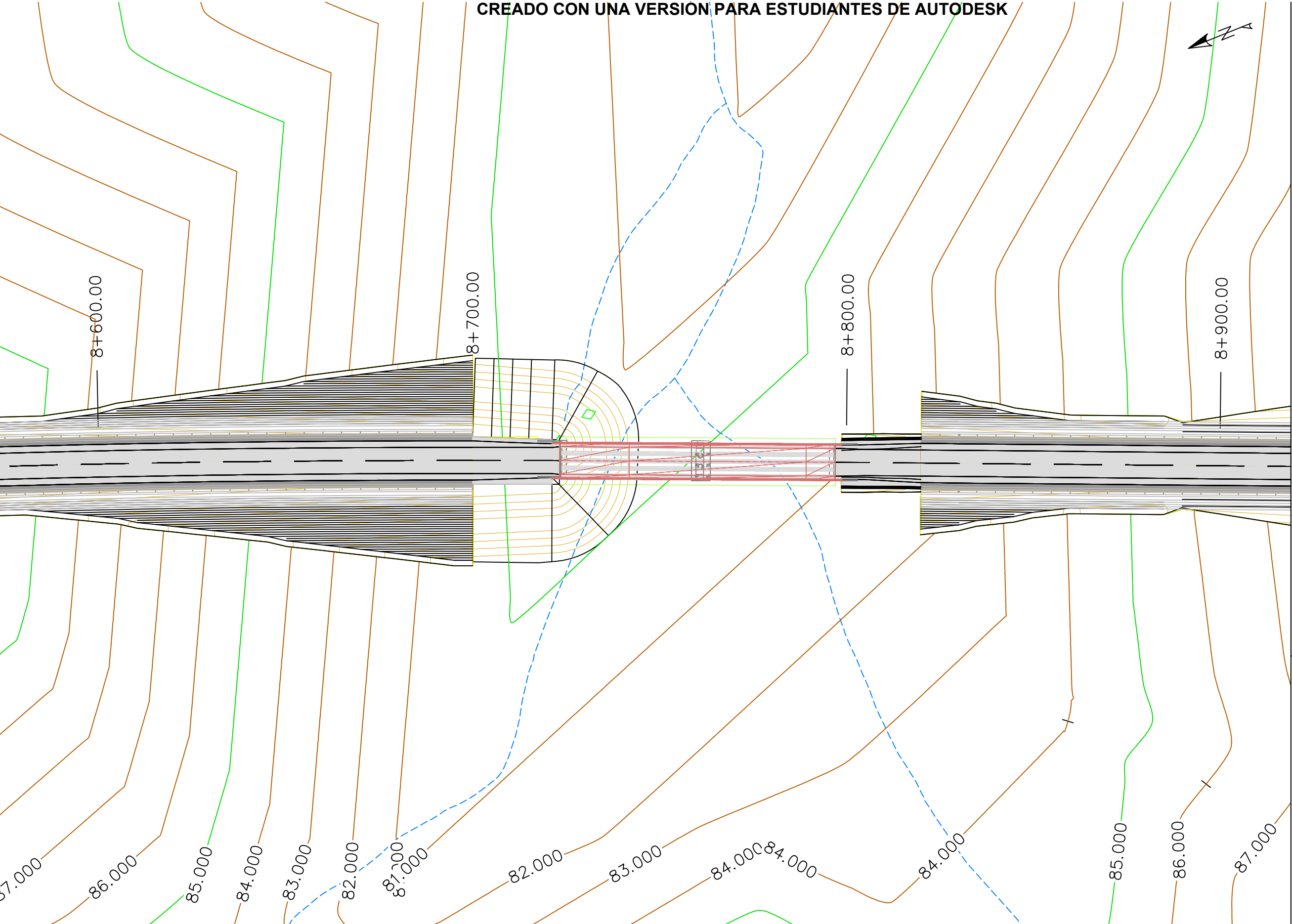
Nº de plano:
6
Nº de Hoja:
6 de 14


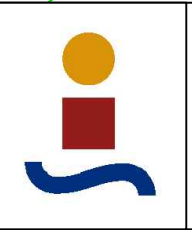


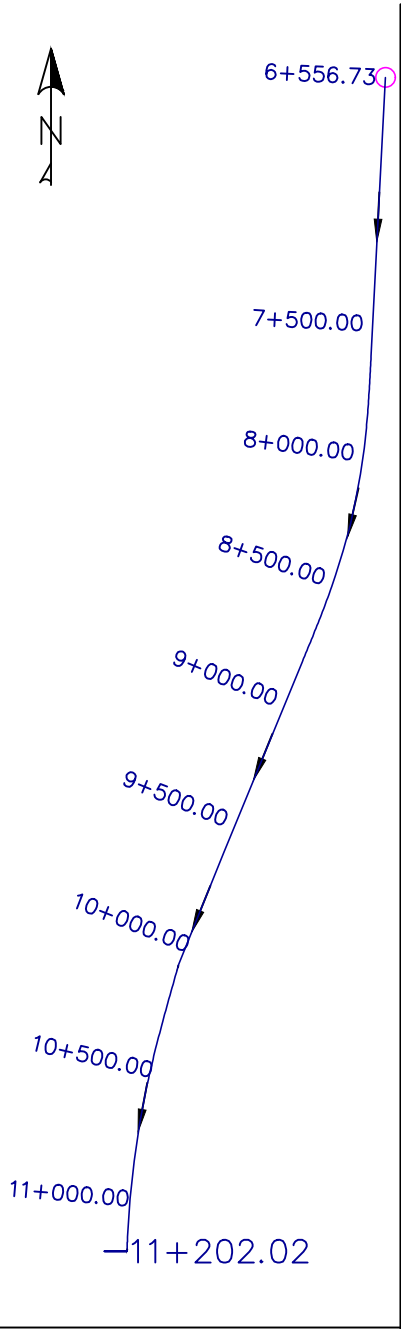
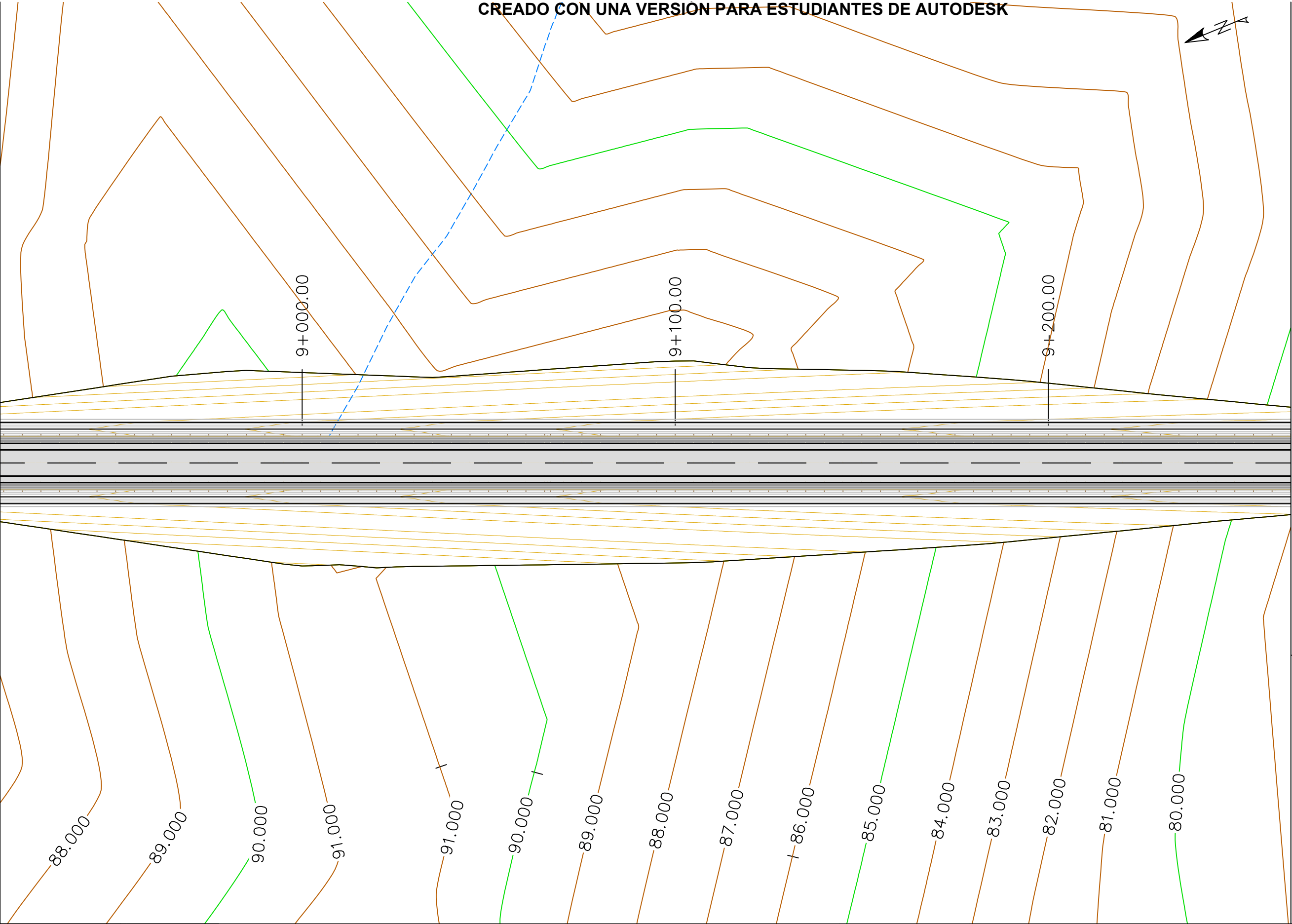
LEYENDA

Curvas maestras se sitúan cada 5 metros, las curvas de nivel cada 1 metro.

- Curvas Maestras
- Curvas de Nivel
- Ríos o arroyos



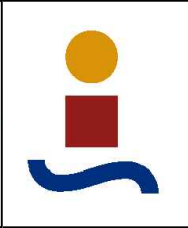
		Autor: JAVIER MONAR GONZÁLEZ Tutor: BLAS GONZÁLEZ GONZÁLEZ Escuela Técnica Superior de Ingeniería Grado Ingeniería Civil	TRABAJO DE FIN DE GRADO PROYECTO: MODELADO BIM PARA INFRAESTRUCTURAS LINEALES	ESCALA/FORMATO 1:1000 A3	Título del plano: Planta General de la Variante	Nº de plano: 7
					Subtítulo del plano: P.K 8+580 a P.K 8+920	Nº de Hoja: 7 de 14



LEYENDA

Curvas maestras se sitúan cada 5 metros, las curvas de nivel cada 1 metro.

- Curvas Maestras
- Curvas de Nivel
- Ríos o arroyos



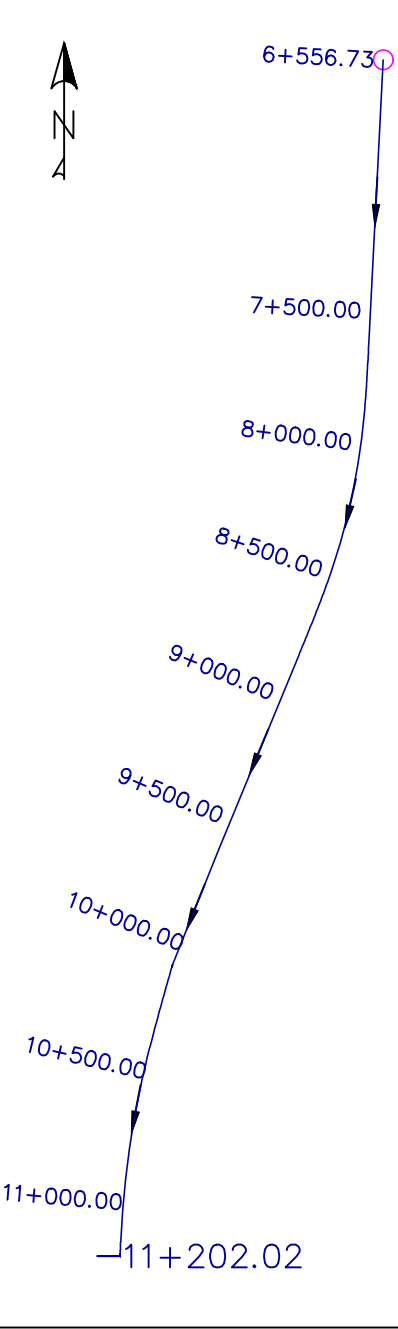
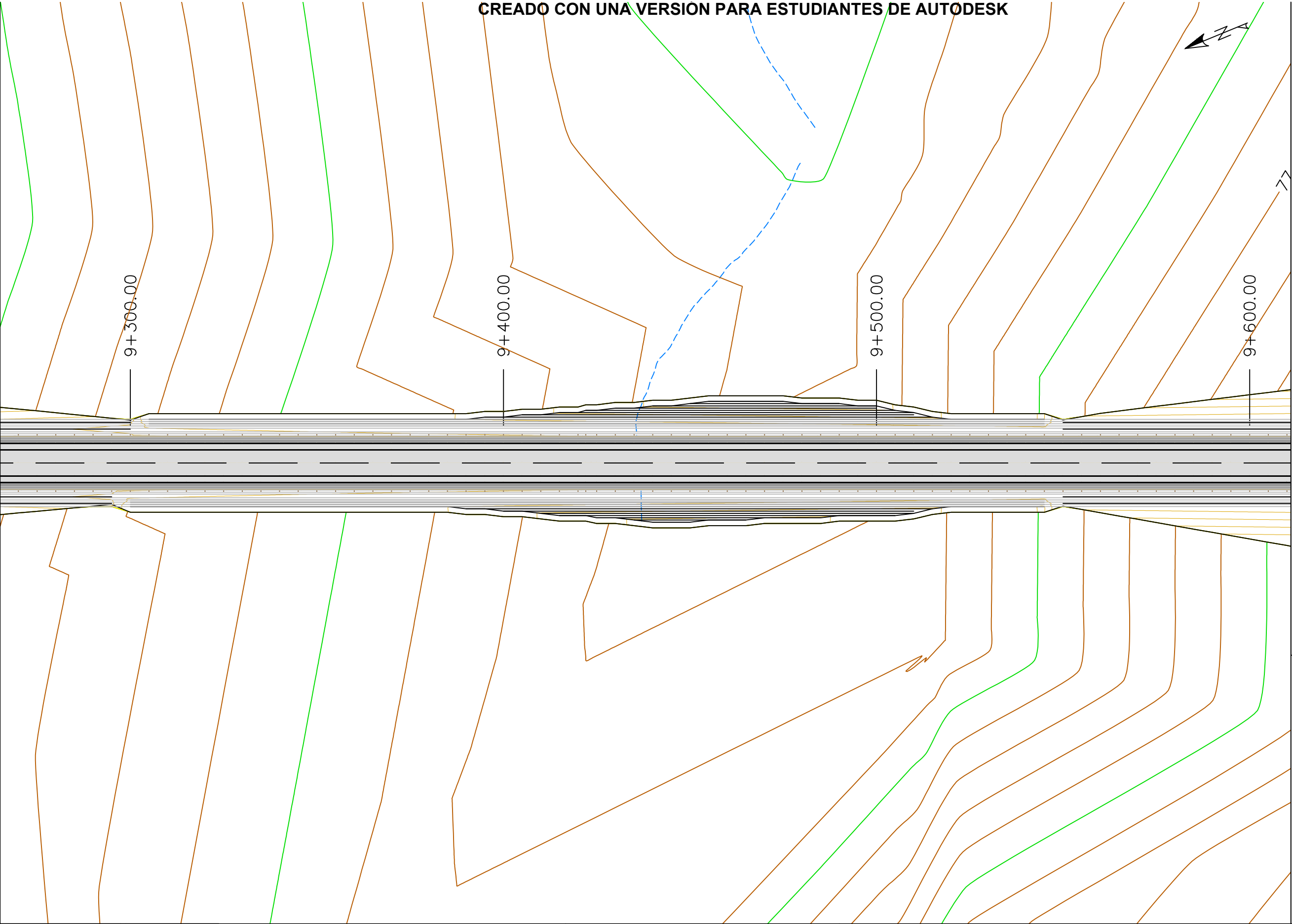
Autor: JAVIER MONAR GONZÁLEZ
Tutor: BLAS GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Grado Ingeniería Civil

TRABAJO DE FIN DE GRADO
PROYECTO:
MODELADO BIM PARA
INFRAESTRUCTURAS LINEALES

ESCALA/FORMATO
1:1000
A3

Título del plano:
Planta General de la Variante
Subtítulo del plano:
P.K 8+920 a P.K 9+270

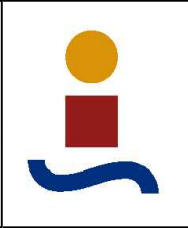
Nº de plano:
8
Nº de Hoja:
8 de 14



LEYENDA

Curvas maestras se sitúan cada 5 metros, las curvas de nivel cada 1 metro.

- Curvas Maestras
- Curvas de Nivel
- Ríos o arroyos



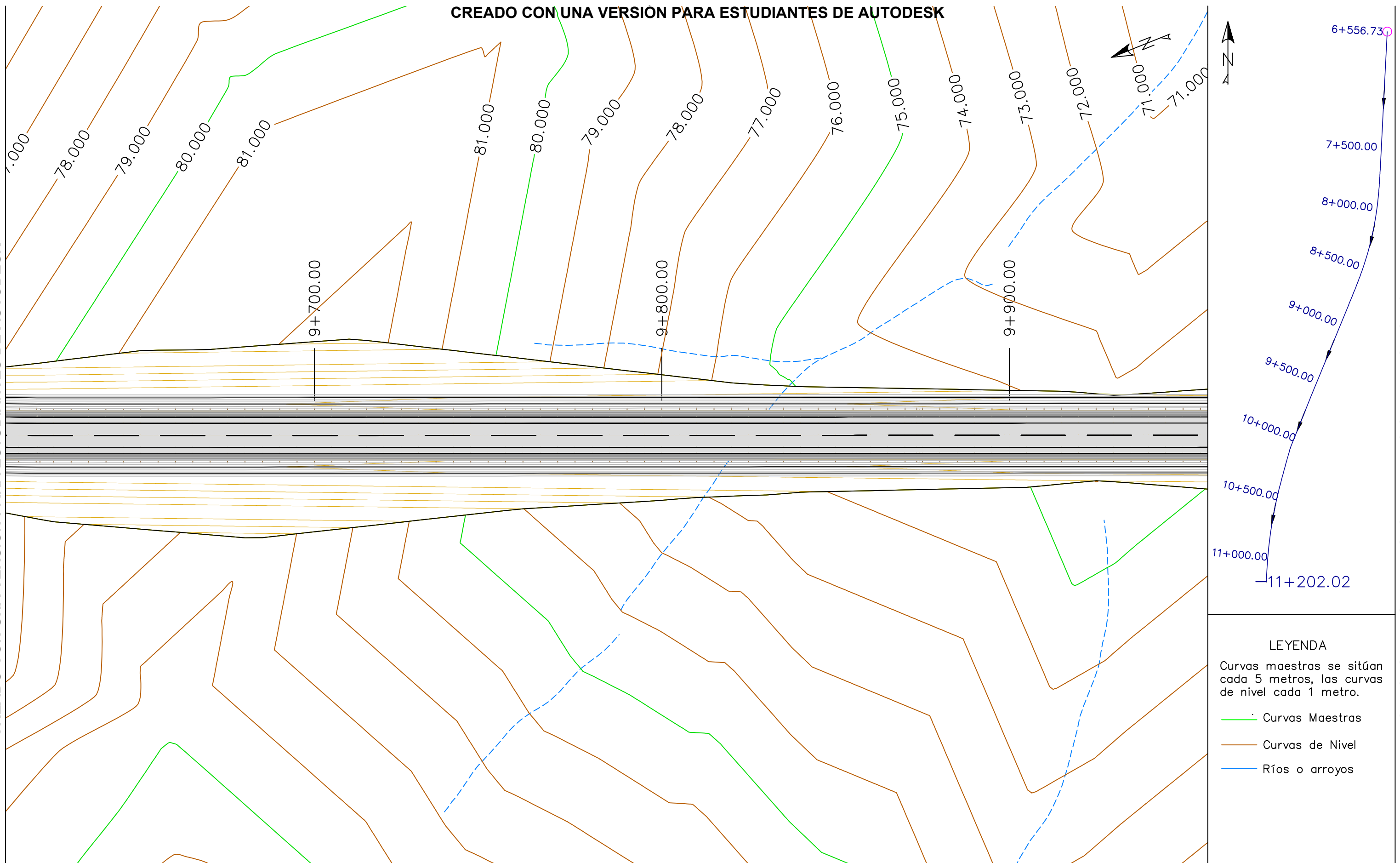
Autor: JAVIER MONAR GONZÁLEZ
Tutor: BLAS GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Grado Ingeniería Civil

TRABAJO DE FIN DE GRADO
PROYECTO:
MODELADO BIM PARA
INFRAESTRUCTURAS LINEALES

ESCALA/FORMATO
1:1000
A3

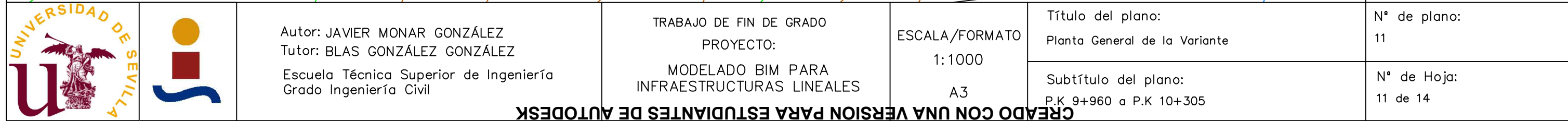
Título del plano:
Planta General de la Variante
Subtítulo del plano:
P.K 9+270 a P.K 9+610

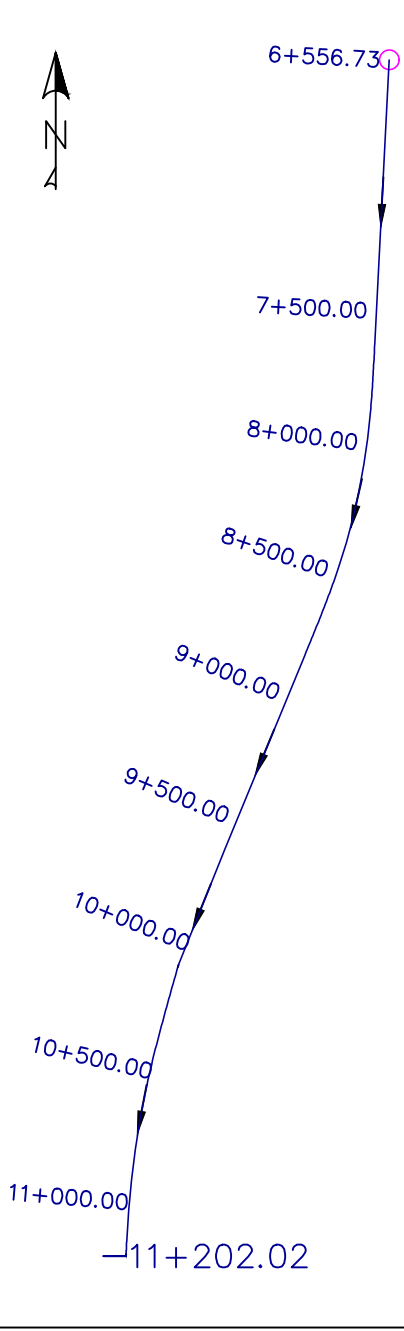
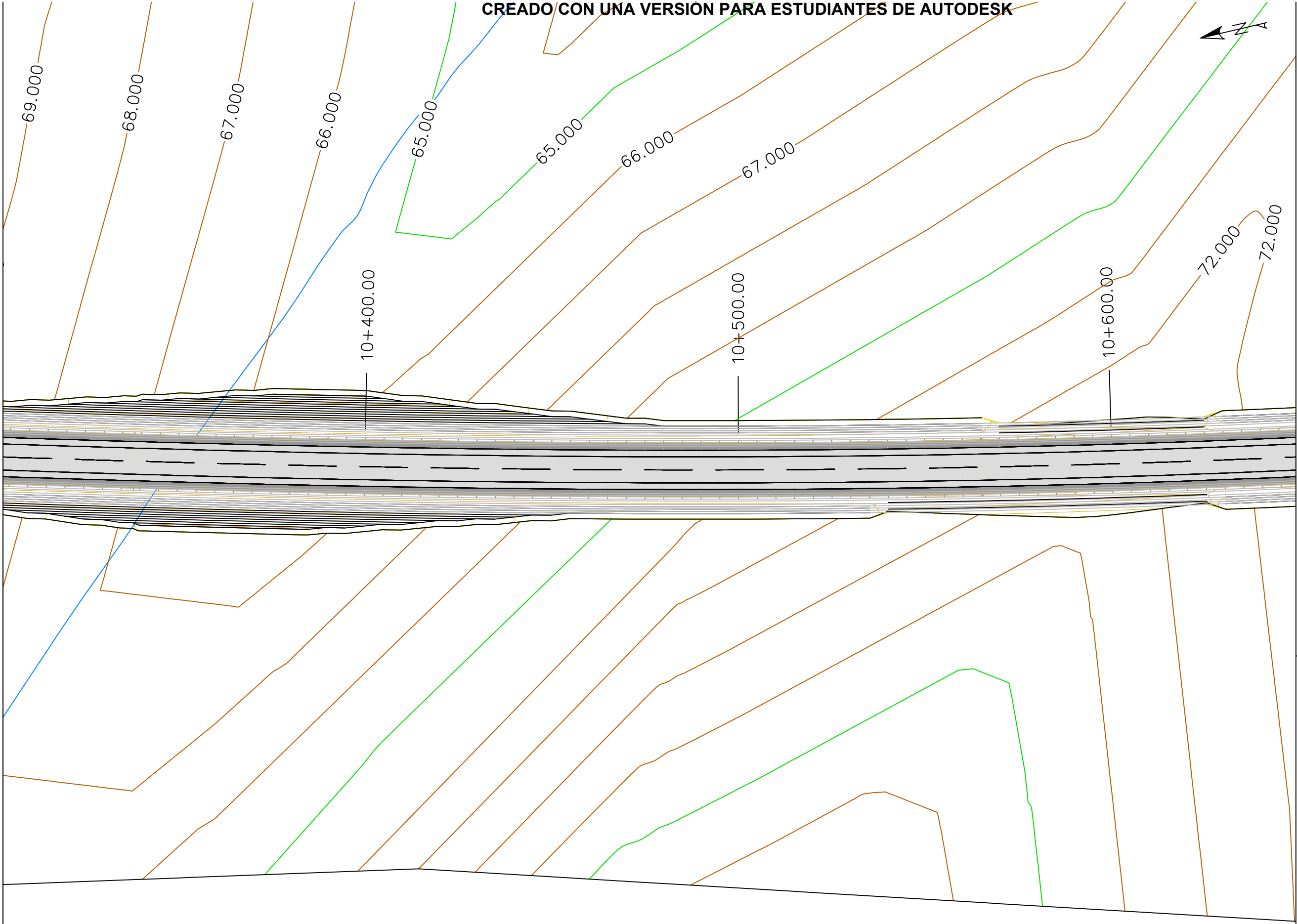
Nº de plano:
9
Nº de Hoja:
9 de 14








CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

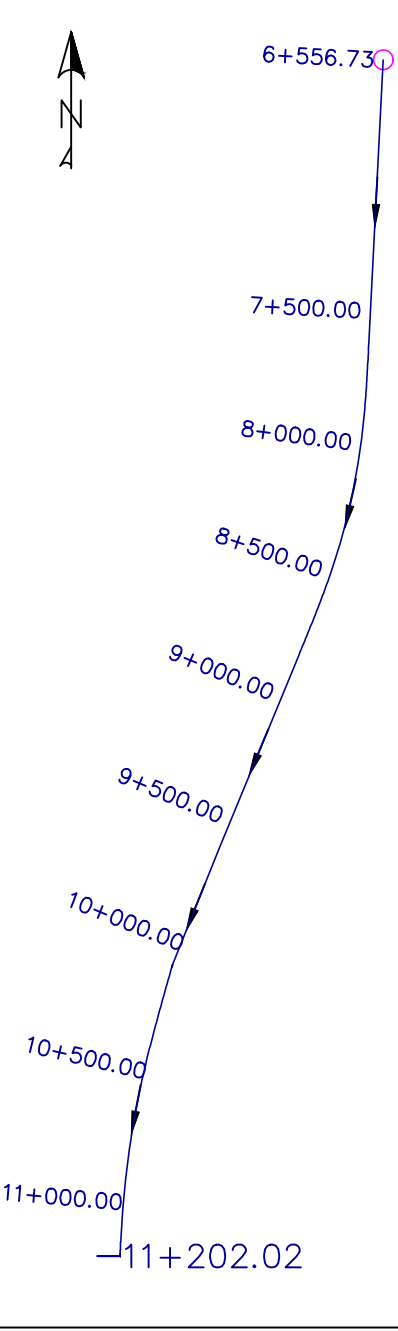
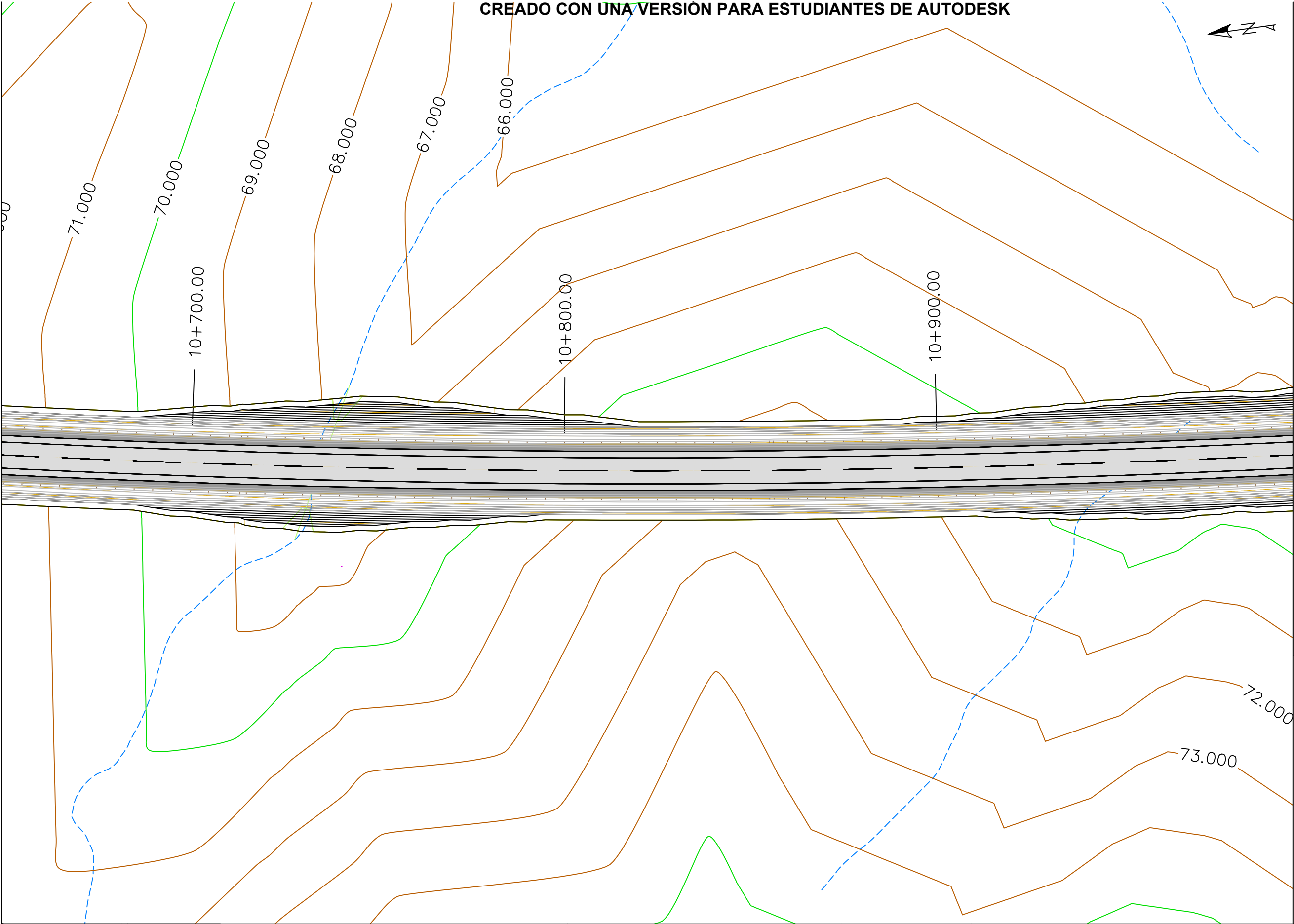
1



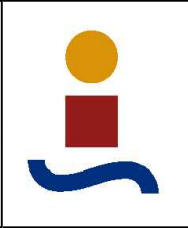


LEYENDA	
Curvas maestras se sitúan cada 5 metros, las curvas de nivel cada 1 metro.	
	Curvas Maestras
	Curvas de Nivel
	Ríos o arroyos

		Autor: JAVIER MONAR GONZÁLEZ Tutor: BLAS GONZÁLEZ GONZÁLEZ Escuela Técnica Superior de Ingeniería Grado Ingeniería Civil	TRABAJO DE FIN DE GRADO PROYECTO: MODELADO BIM PARA INFRAESTRUCTURAS LINEALES	ESCALA/FORMATO 1:1000 A3	Título del plano: Planta General de la Variante	Nº de plano: 12
					Subtítulo del plano: P.K 10+305 a P.K 10+650	Nº de Hoja: 12 de 14



LEYENDA	
Curvas maestras se sitúan cada 5 metros, las curvas de nivel cada 1 metro.	
	Curvas Maestras
	Curvas de Nivel
	Ríos o arroyos



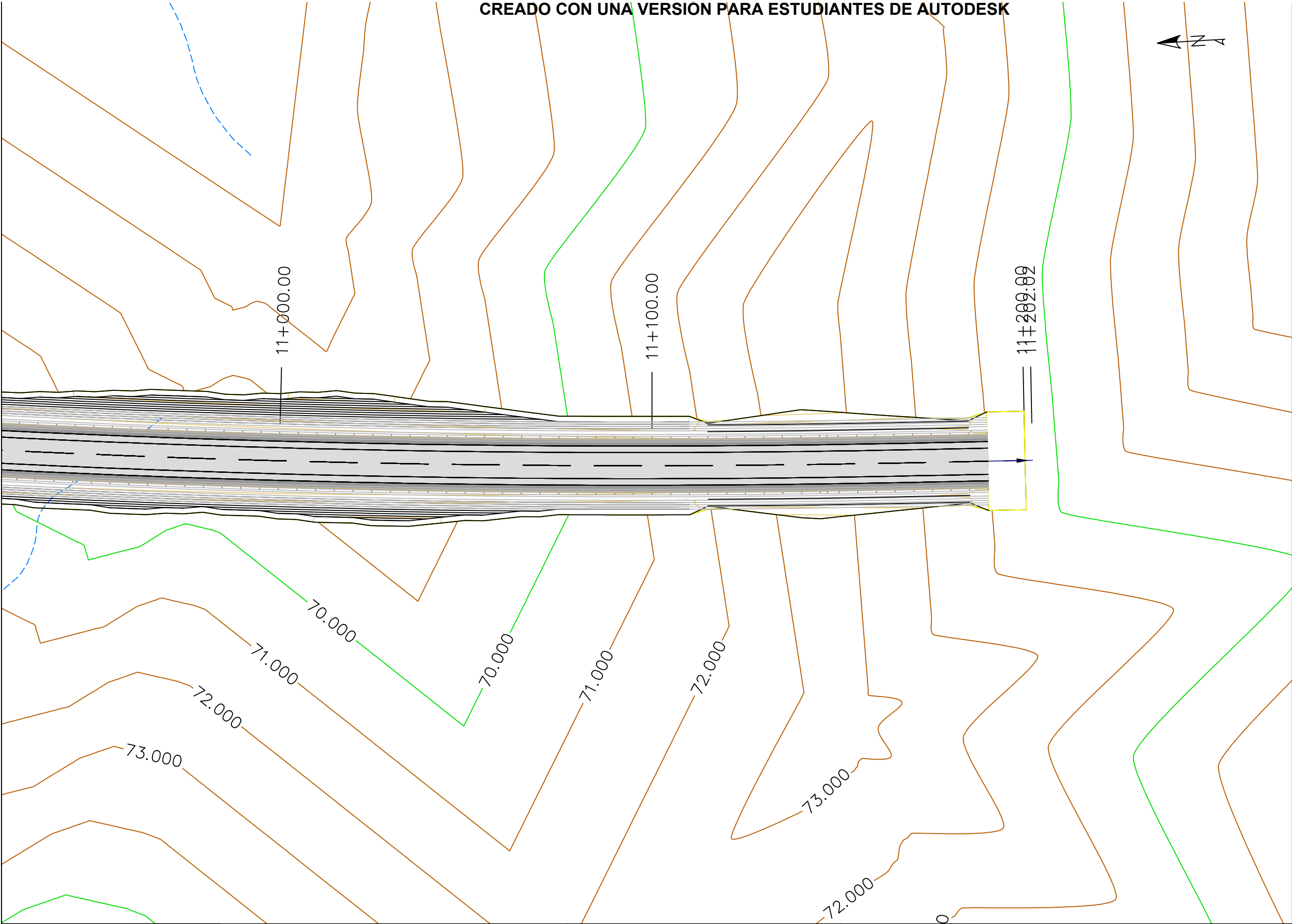
Autor: JAVIER MONAR GONZÁLEZ
Tutor: BLAS GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Grado Ingeniería Civil

TRABAJO DE FIN DE GRADO
PROYECTO:
MODELADO BIM PARA
INFRAESTRUCTURAS LINEALES

ESCALA/FORMATO
1:1000
A3

Título del plano:
Planta General de la Variante
Subtítulo del plano:
P.K 10+650 a P.K 10+990

Nº de plano:
13
Nº de Hoja:
13 de 14



- LEYENDA
- Curvas maestras se sitúan cada 5 metros, las curvas de nivel cada 1 metro.
- Curvas Maestras
 - Curvas de Nivel
 - Ríos o arroyos

Nº de plano:
14

Nº de Hoja:
14 de 14



Autor: JAVIER MONAR GONZÁLEZ
Tutor: BLAS GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Grado Ingeniería Civil

TRABAJO DE FIN DE GRADO
PROYECTO:
MODELADO BIM PARA
INFRAESTRUCTURAS LINEALES

ESCALA/FORMATO
1:1000
A3

Título del plano:
Planta General de la Variante

Subtítulo del plano:
P.K 10+910 a P.K 11+200